مبادئ

كيمياء التغذية

الأستاذ الدكتور
خمساوى احمد الخمساوى .
أستاذ علم التغذية
كلية الزراعة - جامعة الأزهر

دار الهدى للنشر و التوزيع
٥٥ شارع الدكتور الخمساوى - عرب العايدة - الخانكة

مبادئ كيمياء التغذية

الطبعة الأولى

٢٠٠٠

رقم الإيداع بدار الكتب و الوثائق القومية

٢٠٠٠/١٦١١٦

الترقيم الدولى 977/5798/18/4

الناشر



دار الهدى للنشر و التوزيع

٥٥ شارع الدكتور الخمساوى - عرب العايدة - الخانكة

تليفون و فاكس ٤٦٣٣٠٧٥

مُقَدِّمَة

بسم الله الرحمن الرحيم

والحمد لله رب العـالمين . نشـهد ألا الـه إلا الله ، ونشـهد أن محمـدا رسـول الله ، ونصلى ونسلم على الرسول العربى الذى اجتباه ، وعلى أله وأصحابه ومـن والاه. اللـهم صلى وسلم عليه عدد من دبت ومن لم تدب فيه حياة ، واهدنا ربنا الى طريق هداه،،

وبعـــد

فهذا الكتاب قد صنفناه مختصرا حيث وقفنا فيه على المبـادئ العامـة والمعلومـات الأساسية لعلم كيمياء التغذية، وتركنا التفاصيل فقـد عالجناهـا فـى كتابنـا المطـول المسـمى كيمياء التغذية .

وقد سلكنا فى وضع هذا الكتاب طريقة مختلفة عما فعلنـا فـى الكتـاب المطـول فقـد جعلنا لكل قسم من المركبات الغذائية فصلا يتناول تركيبـها الكيمـاوى و أقسـامها وطريقـة بناءها وهضمها وامتصاصها وتمثيلها وانتقالها فى حين إننا فى الكتاب المطول خصصنا لكل موضوع من موضوعات علم التغذية بابا وخصصنا فى كل باب فصل لكـل قسـم مـن أقسـام

المركبات الغذائية نعالج فيه ذلك الموضوع مع هذا القسم مـن المركبـات فجعلنـا للغـذاء بابـا وللهضم بابا وللتمثيل الغذائى بابا وهكذا .

فلعل هذا الكتاب المختصر يكون بداية طيبة للدارس والباحث فى مجال علوم التغذية

اللهم يسر لنا من امرنا رشدا واهدنا إلى سواء السبيل

والله ولى التوفيق

أ.د/ خمساوى احمد الخمساوى

تمهيد

موضوع علم كيمياء التغذية

لا شك ان لدينا فكرة معقولة عن علم الكيمياء Chemistry ذلك العلم الذى يبحث فى خصائص المواد والعناصر والمركبات وكيفية اتحادها وتفككها وتفاعلاتها مع بعضها البعض ، ولا شك اننا نلم بمعرفة ما عن بعض فروع هذا العلم المترامى الاطراف مثل : الكيمياء العامة والطبيعية والعضوية والحيوية والتحليلية ، وفروع فروعها : مثل كيمياء الاصباغ وكيمياء الالياف ، وكيمياء الدهون وكيمياء المعادن وكيمياء الاراضى وكيمياء اللبن وكيمياء الهرمونات وكيمياء الخلية والكيمياء الوصفية والكيمياء الكمية والكيمياء الفسيولوجية .. وغيرها .

وكل فرع من هذه الفروع أو فروع الفرع متخصص فى دراسة مجموعة معينة من المركبات او المواد ذات الوظيفة العملية الواحدة ، ومن ثم تصبح هذه المركبات وتلك المواد موضوعا لفرع الكيمياء الذى يدرسها .

ولنا الان ان نسأل ، ما هو موضوع علم كيمياء التغذية ؟

لا شك ان ظاهر العنوان يوحى بان موضوع هذا الفرع من الكيمياء هو التغذية فهل هذا صحيح ؟

فما هى التغذية ؟

ليس من السهل الاجابة على هذا السؤال على اطلاقة فقد يختلف القصد من المعنى المراد هل هو علم التغذية بمعناه المحدد Nutrition science ام عملية التغذية كأجراء عملى يعتمد على اسس وقواعد معينة Feeding ام هو ذلك المجال العلمى الذى يشمل العلوم والفروع التى تمثل ذلك الجانب من العلوم التجريبية Nutrition field

ومع ذلك ستجد انه يصعب علينا وضع تعريفا جامعا مانعا للتغذية كعلم . والسبب فى ذلك ان علم التغذية ليس علما يعنى بدراسة موضوع محدد كعلم الفيزياء Physics الذى يدرس طبيعة المادة وسلوكها ، او علم الكيمياء Chemistry الذى يدرس تركيب المادة وتفاعلاتها . او علم الأحياء Biology الذى يدرس الكائنات الحية .وانما هو يدرس علاقة غاية فى التعقيد بين المادة الميتة (الجماد) المادة الحية (الأحياء) .

فإذا نظرنا الى الوجود من حولنا أمكننا ان نميز بسهولة بين عالمين من الموجودات هما : عالم المادة (الجمادات) وعالم الحياة (الأحياء) فكل من اللبن والدهن والسكر والتبن والدقيق والماء والبسكويت والفول المدمس وكسب القطن والبيض المسلوق تنتمى الى عالم الجمادات بينما ينتمى كل من الاميبا والنحلة والثعبان والحمامة والدجاجة والعجل والقرد والإنسان الى عالم الأحياء .

فلو نظرت الى كتكوت قد فقس من بيضته بالأمس تجد ان وزنه حوالى ٥٠ جراما وهى ٥٠ جراما مادة حية . وعندما تزنه بعد عدة أسابيع تجد ان وزنه قد فاق ١٥٠٠ جراما، وهى أيضا مادة حية ، ومعنى ذلك انه قد زاد أثناء هذه الفترة قرابة ١٤٥٠ جراما مادة حية . فمن أين أتت إليه ؟؟ انه لم يتناول طوال هذه الفترة إلا عليقة (غذاء) وهو مادة ميتة (جماد) . ولابد ان هذا الغذاء وهو مادة (جمادية) قد تحول الى مادة حية

داخل جسم هذا الطائر ، وكون هذه الزيادة فى وزن المادة الحية فيه ، وهذا الـذى حـدث هو (التغذية)

أذن فالتغذية كما فى الشكل (١) هى عملية عبور الخـط الفـاصل بـين عـالم الجمـاد (الممثل فى الغذاء) الى عالم الأحياء (الممثل فى الكائن الحى)

قال تعالى :

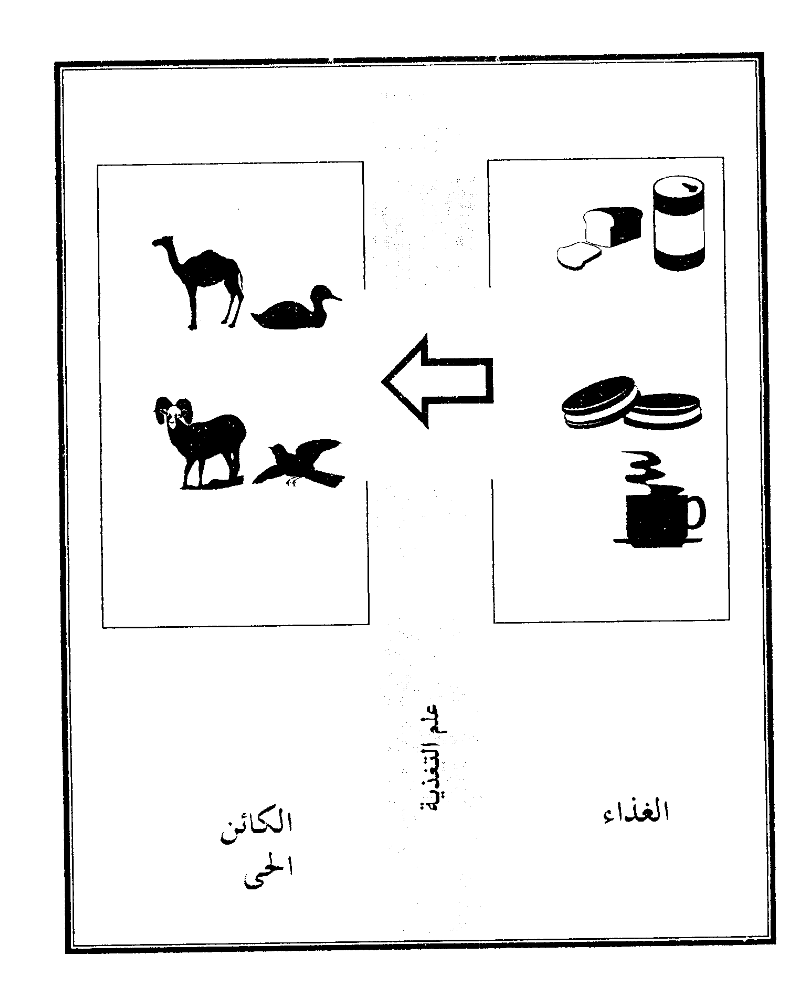
يُخْرِجُ ٱلْحَىَّ مِنَ ٱلْمَيِّتِ وَيُخْرِجُ ٱلْمَيِّتَ مِنَ ٱلْحَىِّ وَيُحْىِ ٱلْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا ۚ وَكَذَٰلِكَ تُخْرَجُونَ ﴿١٩﴾

سورة آل عمران

ان عبور الخط الفاصل بين عالم المادة وعالم الحياة عبور محفوف بـاكثر دروب العلـم غموضا واغناها بالاسرار فهل يتمكن الانسان اليوم او فى الغد القريب او البعيد من عبور هذا الخط !؟ ان العلم يقطع بان هذا مستحيل وليس سبب استحالته يرجع الى ان العلم الحـالى عجز عن العبور بتقنياته ومعارفه الحالية وبالتالى من المحتمل ان يعـبره فـى المسـتقبل مـع تقدم التقنية وزيادة المعارف . انما سبب استحالته انه عبور الى كنه الحياة المثلة فى جوهر الانسان ذاته ومعرفة المخلوق لخلقه تمكنه من خلق نفسه وهذا محال عقلا وعملا وقـد وعـد الله تعالى بذلك فقال :

۞ مَّآ أَشْهَدتُّهُمْ خَلْقَ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضِ وَلَا خَلْقَ أَنفُسِهِمْ وَمَا كُنتُ مُتَّخِذَ ٱلْمُضِلِّينَ عَضُدًا ﴿٥١﴾

سورة الكهف ٥١



شكل (١)

رسم تخطيطى يوضح مجال ومساحث علوم الكيمياء و التغذية و الأحياء

تعريف التغذية

يمكن تعريف التغذية Nutrition بأنها :

" العمليات المتتالية التى تتم على الغذاء بواسطة الكائن الحى لتحويلة الى نمو وتعويض التالف من أنسجته " [1]

او هى " عمليات تحويل الغذاء باعتباره مادة ميتة الى جزء من المادة الحية داخل كائن حى ما" [2]

ولما كان علم التغذية يقع بين عالمين" عالم الجماد " الذى يدرسه علم الكيمياء Chemistry وعالم الاحياء الذى يدرسه علم الاحياء Biology فلا شك ان يكون لموضوع التغذية جانبان :

جانب يتصل بالمادة والدخول من هذا الجانب الى موضوع التغذيــة لا يكـون الا بعلم الكيمياء ومن هنا تخصص أحد فروع الكيمياء كمدخل لموضوع التغذية تحت اسم كيمياء التغذية Chemistry of nutrition .

---

(١) تعريف معجم جامعة اكسفورد عن :

Crampton E.W.& L.E. Lioyd, 1959 Fundamentals of nutrition W.H. Freeman and company. San Francisco.

(٢) د/ خمساوى احمد الخمساوى (١٩٨٦) محاضرات فى علم التغذية المقارن – قسم الانتاج الحيوانى – كلية الزراعة – جامعة الازهر – القاهرة ص ٣

وجانب آخر يتصل بالحياة والدخول إليه يكون بعلم الاحياء وقد خصص فرع من فروعه كمدخل لموضوع التغذية تحت اسم علم التغذية الوظيفى " فسيولجيا التغذية Physiology of nutrition

مبحثى علم كيمياء التغذية

ويشمل الجانب من موضوع التغذية الذى يدرسه علم كيمياء التغذية مبحيثين رئيسيين

الأول : دراسة المركبات أثناء تحولاتها الغذائية ، وهو مبحث لعلم الكيمياء الحيوية Biochemistry

والثانى : تقدير هذه المركبات وصفيا وكميا ، وهو مبحث لعلم الكيمياء التحليلية Analytical chemistry وسوف ندرس المبحث الأول من خلال المحاضرات النظرية فى هذا الكتاب . فى حين يكون المبحث الثانى هو موضوع التمارين العملية من خلال كتابنا فى تحليل وتقييم مواد العلف- الجزء الأول [1] .

عناصر الغذاء

يمكن القول ان غذاء الحيوان والدواجن بشكل عام يشمل المادة العضوية الحيوية والعناصر المعدنية ذات الصلة بها . وقد امكن حصر المكونات الأساسية (كعناصر للغذاء) فى ستة أقسام يطلق عليها " العناصر الغذائية الرئيسية Major Nutrients وهى :

---

(١) تحليل وتقييم مواد الاعلاف - للمؤلف - فى ستة اجزاء ، طبعة ١٩٩١ دار الهدى للنشر والتوزيع - القاهرة

١- الكربوهيدرات Carbohydrates

٢- الدهون Lipids

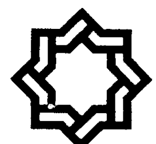
٣- البروتينات Proteins

٤- الفيتامينات Vitamins

٥- العناصر المعدنية Minerals

٦- الماء Water

وفيما يلى نتحدث عن كل منها بالتفصيل من الناحية الكيميائية .



الفصل الاول

كيمياء الكربوهيدرات

CARBOHYDRATES

مقدمة

تتبع الكربوهيدرات المركبات العضوية التى تحتوى على مجموعة الدهيد او كيتون وعلى مجاميع الهيدروكسيل الكحولية ، ويعبر عن بنائها الاولى $C_mH_{2n}O_n$ ولهذه الصيغة عدد غير كبير من الشواذ ، وهذا التعريف المشار اليه – بصرف النظر عن كونه ليس على درجة مطلقة من الدقة – يسمح عموما ببساطة شديدة بوصف هذه المجموعة من المركبات العضوية المختلفة ككل .

ولا يعطى اى من تسمية هذه المركبات بالكربوهيدرات او صيغتها العامة تصورا واضحا عن خوصها الكيميائية او بنائها ، وعلاوة على ذلك فان اصطلاح (الكربوهيدرات) الذى اقترحه لاول مرة العالم الكيميائى شميث ينوه بفكرة ان هذه المركبات تعتبر هيدرات الكربون ، الا ان ذلك غير مضبوط على الإطلاق مما دعا الى اقتراح مصطلح جديد منذ عام ١٩٢٧ ليدل على هذه الطائفة من المركبات هو " الجلوكوسيدات Glycocids الا انه للأسف وجد صعوبة فى شق طريقه الى الأوساط الغذائية والكيميائية .

والكربوهيدرات مركبات ذات صفات متنوعة تختلف بشدة فيما بينها ، فتوجد من ضمنها مواد ذات أوزان جزيئيه مرتفعة وأخرى منخفضة ومواد قابلة للتبلور وأخرى غير متبلورة ومنها ما يذوب فى الماء ومنها مالا يذوب فيه ، وبعضها قابل للتحلل المائى والبعض غير قابل لذلك ويتأكسد بعضها بسهولة فى حين ان الآخر يقاوم نسبيا فعل عوامل التأكسد .... الخ .

اهمية الكربوهيدرات فى جسم الحيوان

(١) تعتبر الكربوهيدرات المواد التى تنتج الطاقة عند أكسدتها ، فهى من مصادر الطاقة فى الجسم

(٢) تعمل النواتج الوسطية الناتجة عن أكسدة الكربوهيدرات كمواد أساسية لبناء عديد من المركبات العضوية الحيوية الأخرى .

(٣) تدخل الكربوهيدرات فى تكوين عدد من المركبات ذات البناء الفريد او ذات التخصص النوعى كما هو الحال فى مجموعات الدم.

(٤) تكون او تدخل فى تكوين بعض البناءات الدعامية فى الجسم.

تقسيم الكربوهيدرات

تنقسم الكربوهيدرات الى مجموعتين هما :

(١) مجموعة السكريات ، وتسمى السكريات الحقيقية True saccharides او السكريات البسيطة Simple saccharides

(٢) مجموعة اللاسكريات وتسمى ايضا السكريات غير الحقيقية Non-Saccharides او السكريات العديدة Polysaccharides وتشمل المجموعة الاولى قسمين هما :

أ- احادية التسكر Monosaccharides

وهى السكريات التى لا يمكن تحليلها الى وحدات سكرية ابسط منها ، وتتراوح عدد ذرات الكربون فى جزيئات هذه الافراد بين ثلاث و عشرة ذرات كربون ومن امثلة هذا القسم الجلوكوز ، الفركتوز ، الريبوز .... الخ .

ب- قليلة التسكر Oligosaccharides

وهى سكريات مركبة ولكنها ابسط من عديدة التسكير ، وتتكون نتيجة تكاثف جزيئين او ثلاثة او اربعة من السكريات الاحادية تكثيفا اثيريا مع فقد عدد من جزيئات الماء اقل بواحد من عدد جزيئات السكر ، واغلب الوحدات المتكثفة تكون من الهكسوزات والبنتوزات.

ويضم هذا القسم ثلاثة انواع تبعا لعدد وحدات السكر المتكاثفة فى الجزيئ :

* **ثنائية التسكر Disaccharides**: وتتكون من تكاثف سكرين احاديين ومن امثلتها السكروز والمالتوز واللاكتوز .

* **ثلاثية التسكر Trisaccharides**: وتتكون من تكاثف ثلاثة سكريات احادية ومن امثلتها الرافينوز

* **رباعية التسكر Tetrasaccharides**: وتتكون من تكـاثف اربعـة سـكريات احادية ومن امثلتها الستاكيوز .

والنوعان الاخيران نـادرا الوجـود فـى اغذيـة الحيوانـات والدواجـن ، ولذلـك لـن نوليهما اهتماما كبيرا .

وتشمل المجموعة الثانية قسمين هما :

أ – متجانسة التسكر Homopolysaccharides

وينتج عن تحليلها نـوع واحـد **مـن السـكريات الاحاديـة** ، ومـن امثلتـها النشـا ، الجلايكوجين والسيلولوز ، وشبيه **السليولوز** ، **وجميعها ينتج** الجلوكوز فقط عند تحللها.

ب– غير متجانسة التسكر Hetropolysaccharides

وينتج عن تحللها اكثر من نوع واحد من **السكريات** الاحادية ومن امثلتها الهيبارين ، وهى اقل اهمية فى غذاء الحيوان .

السكريات البسيطة (الحقيقة)

SIMPLE SACCHARIDES

السكريات الاحادية Monosaccharides

تحتوى افراد هذه المجموعة كما سبق القول علـى ذرات كربـون تـتراوح بـين ٣–١٠ ذرات فى الجزيئ ، والمعروف منها ما يقرب من سبعين فردا ، يوجد حوالى ٢٠ منها فى

الطبيعة ، و توضح الأشكال ٢ ، ٣ ، ٤ التنسيق البنائى للسكريات الأحادية من الثلاثية الى السباعية.

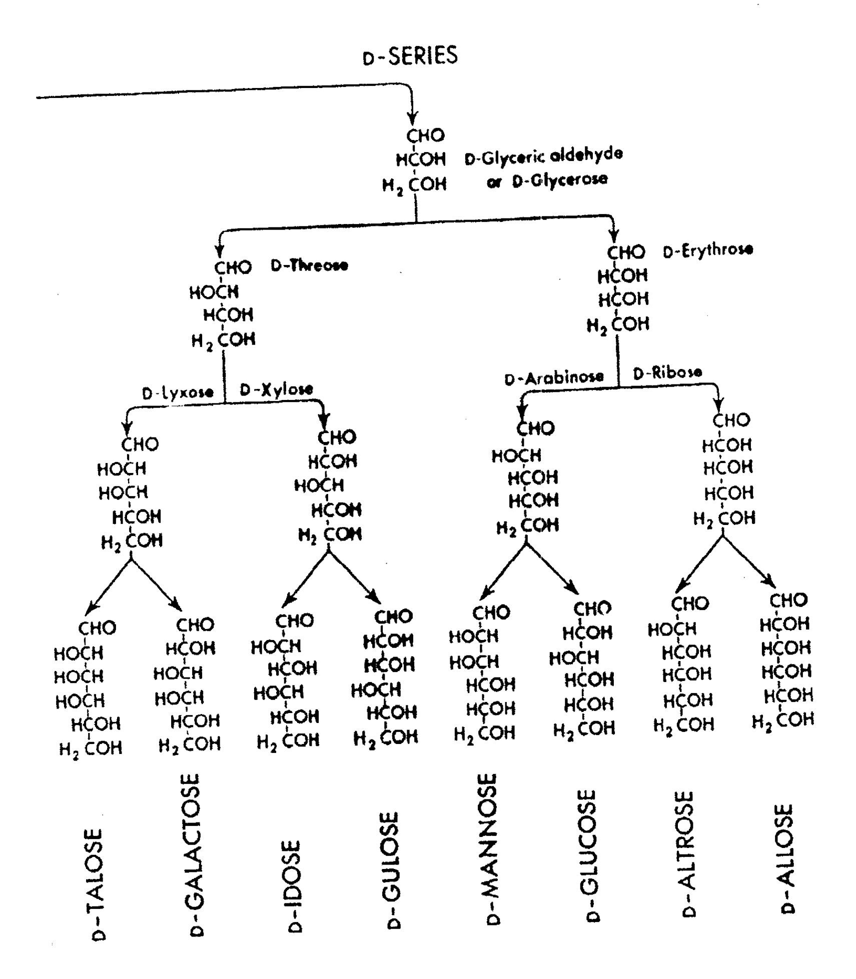
(١) عدد ذرات الكربون

يسمى السكر تسمية عددية حسب عدد ذرات الكربون فيه مضافا اليها مقطع(ـــوز Ose) اى سكر باليونانية ، وهى على ثمانية اقسام:

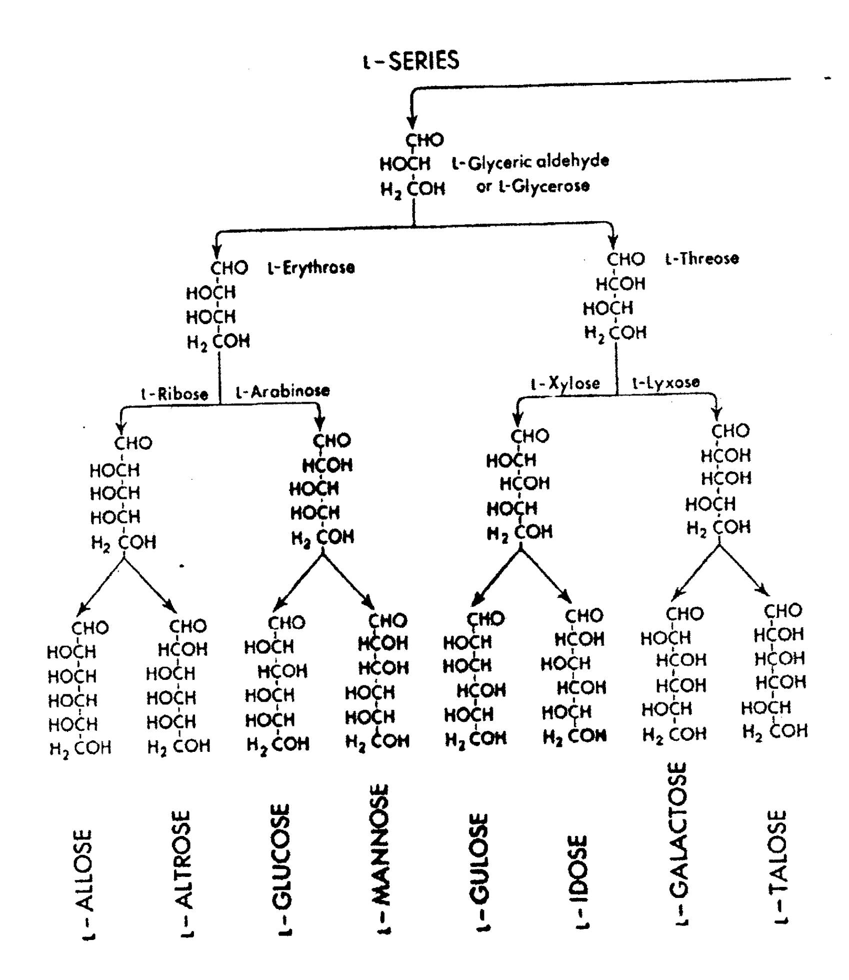
ترايوزات	Trioses	$C_3H_6O_3$
تتروزات	Tetroses	$C_4H_8O_4$
بنتوزات	Pentoses	$C_5H_{10}C_5$
هكسوزات	Hexoses	$C_6H_{12}O_6$
هبتوزات	Heptoses	$C_7H_{14}O_7$
اوكتوزات	Octoses	$C_8H_{16}O_8$
نونوزات	Nonoses	$C_9H_{18}O_9$
ديكوزات	Decoses	$C_{10}H_{20}O_{10}$

(٢) وضع مجموعة الكربونيل

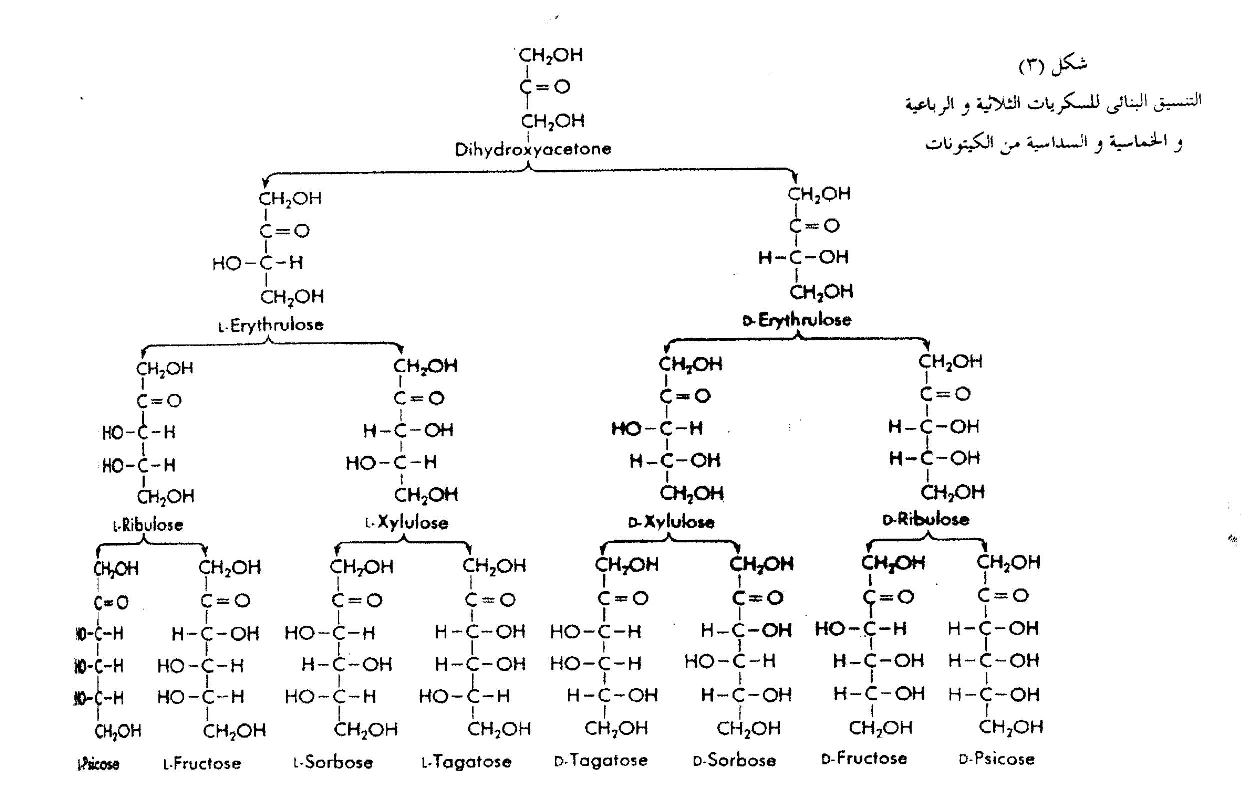
ويكـون ذلـك فـى صورتـين وهمـا (الالـدوزات Aldoses) و (الكيتـوزات Ketoses) وتمثل مجموعة الكربونيل فـى الاول وضعـا طرفيـا مكونـة مجموعـة الدهيـد، وفى الثانية وضعا وسطيا مكونة مجموعة كيتون وتميز الالـدوزات بمقطـع (ـوز Ose) فـى اسم السكر اما الكيتوزات فتميز بمقطع (يـولوز Ulose).



شكل (٢) التنسيق البنائى للسكريات الأحادية الثلاثية و الرباعية



و الخماسية و السداسية من الألدوزات



شكل (٣)

التنسيق البنائى للسكريات الثلاثية و الرباعية
و الخماسية و السداسية من الكيتونات

D-sedo-heptulose	L-per-seulose	D-gluco-heptulose	L-gluco-heptulose	D-manno-heptulose
CH_2OH	CH_2OH	CH_2OH	CH_2OH	CH_2OH
C=O	C=O	C=O	C=O	C=O
HO—C—H	HO—C—H	H—C—OH	HO—C—H	HO—C—H
H—C—OH	H—C—OH	HO—C—H	H—C—OH	HO—C—H
H—C—OH	H—C—OH	H—C—OH	HO—C—H	H—C—OH
H—C—OH	HO—C—H	H—C—OH	HO—C—H	H—C—OH
CH_2OH	CH_2OH	CH_2OH	CH_2OH	CH_2OH

شكل (٤) بعض السكريات السباعية

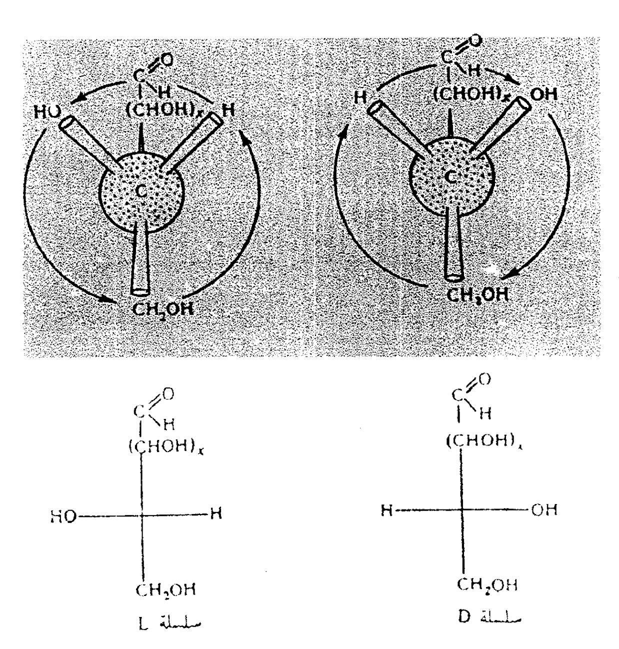
(٣) التماثل البنائى

نظرا لوجود ذرات كربون غير متماثلة فى جزيئات السكريات الاحادية ، فإن بناءها يكون لاتماثليا ، لذلك تتميز هذه المركبات بالايزوميرية الضوئية او ايزوميرية المرآة ، ويقدر عدد الايزوميرات الضوئية (X) للسكريات الاحادية من المعادلة :

$X= 2^n$ حيث n عدد ذرات الكربون غير المتماثلة فى الجزئ وعلـى سـبيل المثـال يكون للتتروز اربعة استريوايزميرات وللبنتوز ثمانية وللهكسوز ستة عشر .

وتسمى اشكال السكريات الاحادية المبنية بنظام المرآة بالانتبودات (**Antipodes**) بمعنى " الواقعة على الوجه المقابل " ويطلق على مخاليط الجزيئات المتكافئـة او المركبـات الناتجة عن ارتباط الأخيرة بعضها اسم (المخاليط الرسمية).

وتوجد ضمن الايزوميرات الضوئية للسكريات الاحادية مجموعتان (يمينية ويسارية) تبعا لبناء الطرف البعيد للجزئ (ويقصد به الطرف البعيد عن مجموعة الكربونيل) وتتبع المجموعة اليمينية **(D)** جميع السكريات الاحادية التى تكون فيها كل من ذرة الهيدروجين ومجموعتى الهيدروكسيل والهيدروكسى ميثيل المرتبطة بذرة الكربون قبل الاخيرة فى الجزئ بحيث يتبع ترتيبها فى الفراغ اتجاة عقارب الساعة ، بينما تتبع المجموعة اليسارية **(L)** تلك السكريات الاحادية التى ترتب المجموعات السابقة فى الفراغ فى عكس اتجاه عقارب الساعة .



شكل (٥) تحديد البناء ا لايزوميرى للسكريات

(٤) زاوية دوران الشعاع

ويقصد بها قدرة المركب على إحداث إنحراف للضوء المستقطب المار فيه الى جهة اليمين او اليسار ، وتنقسم السكريات من حيث قدرتها على إحداث انحراف الضوء المستقطب والتى تسمى بظاهرة (النشاط الضوئى) الى مجموعتين (يمينية ويسارية) ولا يوجد هناك اى علاقة بين النشاط الضوئى ان كان يمينا او يساريا وبين كون المركب فى ترتيبه البنائى السابق ذكره يكون يمينيا او يساريا ، ويشار الى النشاط الضوئى للسكر بوضع علامة (+) أو (–) بين قوسين قبل اسم السكر والحرف الدال على تناظره البنائى فيدل الرمز (+) على انه يحرف الضوء فى اتجاة اليمين ، والرمز (–) على انه يحرف الضوء ناحية اليسار .

وعلى سبيل المثال يتبع سكر { D(+) – Glucose } المجموعة اليمينية من حيث ان ترتيب مجموعات الهيدروجين والهيدروكسيل والهيدروكسى ميثيل المرتبطة بذرة الكربون الاخيرة فى الجزء يتبع اتجاة عقارب الساعة وفى نفس الوقت يحرف الضوء المستقطب الى جهه اليمين ، فى حين (D(-)- Fructose) يعنى ان هذا السكر يتبع المجموعة اليمينية كما فى المركب السابق ولكنه يحرف الضوء المستقطب الى ناحية اليسار .

التحولات الايزوميرية الديناميكية (الحلقية – السلسلية)

للسكريات الاحادية صورة حلقية (دائرية) وصورة على هيئة سلاسل كربونية مستقيمة ، وتكون كلتا الصورتين فى اتزان ديناميكى، ويتم قفل الحلقة باقتراب مجموعة كربونيل السكر الاحادى من مجموعة الهيدروكسيد الموجودة على ذرة كربون تكون على بعد ثلاثة او اربعة ذرات كربون من مجموعة الكربونيل ، ويرتبط الاكسجين فى مجموعة

الكربونيل بمجموعة الهيدروكسيل وينتج عن ذلك تكون مجموعة هيدروكسيل جديدة يطلــق عليها اسم الهيدروكسيل الجلوكوزيدى شكل (٦ ، ٧).

β-D-glucose +19°

Chain form of D-glucose, only trace present

α-D-glucose +112°

شكل (٦) التحولات الحلقية السلسلية لسكر الجلوكوز

pyranose structure

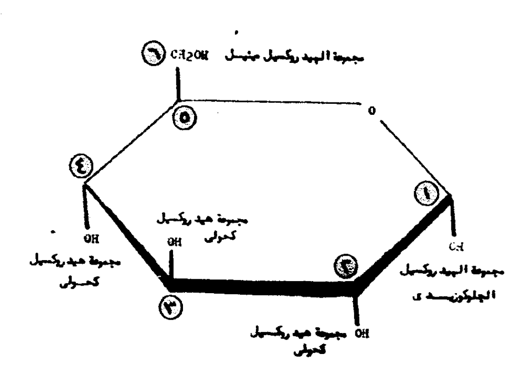
pyran

furanose structure

furan

شكل (٧) الحلقات السداسية و الخماسية للسكريات الحلقية

وينتج من ذلك حلقة خماسية (فيوران) او سداسية (بيران) كما فى شكل ٧ وتشير الخطوط الغليظة فى نموذج شكل (٨) الى الروابط بين ذرات الكربون التى تتجه ناحية المشاهد بينما الخطوط الرقيقة الى الروابط التى تقع خلف مستوى الورقة ويسهل من ذلك ادراك الشكل الفراغى للصيغة الحقيقية وتترتب ذرات الهيدروجين ومجاميع الهيدروكسيل الى اعلى والى اسفل مستوى الحلقة غير المتجانسة .



شكل (٨) مجموعات الهيدروكسيل فى سكر الجلوكوز

وحيث انه فى اللحظة التى تقفل فيها الحلقة تتحول ذرة الكربون التى كانت اصلا مجموعة كربونيل الى ذرة غير متماثلة ، فان ظهور الصورة الحلقية يكون مصحوبا بظهور ايزوميرين ضوئيين جديدين ، ويطلق على احدهما الذى يكون فيه الهيدروكسيل الجليكوزيدى متجها فى نفس اتجاة الهيدروكسيل الكحولى المتصل بذرة الكربون قبل

الاخيرة (التى تحدد تبعية السكر الى المجموعة (D) أو (L) اسم الصورة (∝) بينما يطلق على الصورة المضادة اسم الصورة (ß).

وتوجد السكريات الاحادية فى حالتها البللورية على هيئة صورة حلقية فقط وتوجد للصورة الحلقية ٨ اشكال فراغية ، اكثرها انتشارا صورة (*المركب*) و صورة (*الكرسى*) شكل (٩).

شكل الكرسى
(العلامة المختصرة لها هى
C من كلمة chair)

شكل المركب
(العلامة المختصرة لها
B من كلمة boat)

شكل (٩) صورتا المركب و الكرسى الفراغيتان للسكريات

والسكريات الشائعة فى غذاء الحيوان والدواجن جميعها من الصورة (D) حيث ان الصورة (L) نادرة الوجود فى الغذاء الطبيعى كما انها صورة غير قابلة للامتصاص من امعاء الحيوانات الراقية. ومن ناحية اخرى فان معظم السكريات التى توجد فى الغذاء هى من البنتوزات مثل الريبوز والريبوفوز والزيلوز ومن الهكسوزات مثل : الجلوكوز ، والجلاكتوز والفراكتوز والمانوز ، ونادرا ما تكون من الهيباوزات مثل : السيدوهبتوز وجميع هذه السكريات المذكورة من الالدوزات فيما عدا الريبولوز والفركتوز فهى من الكيتوزات ومن ناحية اخرى يندر وجود السكريات الاحادية منفردة فى الطبيعة فيما عدا الجلوكوز

والفركتوز ، وجميعها توجد مرتبطة فى السكريات المركبة سواء قليلة التسكير او عديدة التسكير .

السكريات قليلة التسكر
OLIGOSACCHARIDES

يجدر بنا ان نتعرف على نوعي مجموعتى الهيدروكسيل فى السكر الاحادى ، حيث تسمى مجموعة الهيدروكسيل التى تكونت نتيجة اغلاق حلقة السكر السداسية " بمجموعة الهيدروكسيل الجليكوزيدى " كما سبق شرحة ، وتسمى مجموعة الهيدروكسيل الموجودة على ذراة الكربون الاخرى بمجموعات الهيدروكسيل الكحولية حيث يبدأ ترقيم ذرات الكربون من ذرة الكربون التى كانت مكونة لمجموعة الالدهيد أو الكيتون والتى اغلقت الحلقة عندها والتى تحمل مجموعة الهيدروكسيل الجلوكوزيدية فتكون هى رقم (١) ، ومن ثم تكون مجموعات الهيدروكسيل الكحولية قد اصبحت على ذرات الكربون ارقام ٢، ٣، ٤، ٦.

وفى جميع السكريات العديدة يتم الاتحاد مع مجموعات الهيدروكسيل الجلوكوزيدية او الكحولية التى على ذرات الكربون ارقام ٤ او ٦ شكل (١٠) ومجموعة الهيدروكسيل الجلوكوزيدية هى المجموعة الوحيدة فى جزئ السكر التى تعطى التفاعلات الخاصة بمجموعة الالدهيد او الكيتون ، بمعنى انها قابلة للأكسدة والاختزال فى حين ان مجموعة الهيدروكسيل الكحولية ليس لها هذه الخواص وعلى ذلك يكون هناك نوعان من ارتباط السكريات الاحادية مع بعضها البعض لتكوين السكريات الثنائية او العديدة ينتج عنها نوعيين رئيسيين من هذه السكريات يعرف احدهما بالسكريات المختزلة والاخرى بالسكريات غير المختزلة .

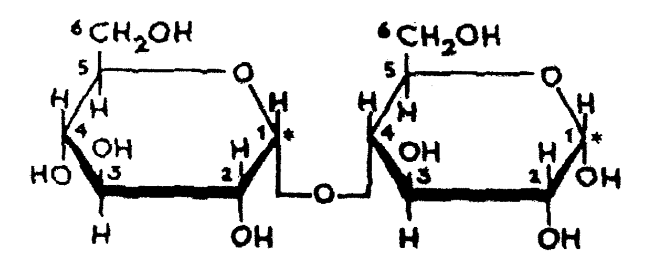
شكل (١٠) الرابطة الفا (١ – ٤) و الفا (١ – ٦)

أولا : السكريات المختزلة Reducing Saccharides

وفيها يكون الاتحاد بين السكر الاحادى والاخر بين مجموعة الهيدروكسيل الجلوكوزيدية فى احداها ومجموعة الهيدروكسيل الكحولية فى الاخر شكل (١١) ويسمى هذا الاتحاد جلوكوزيد – جلوكوز ، وتسمى السكريات الثنائية المتكونة عن هذا الاتحاد من النوع " مالتوز Maltose"

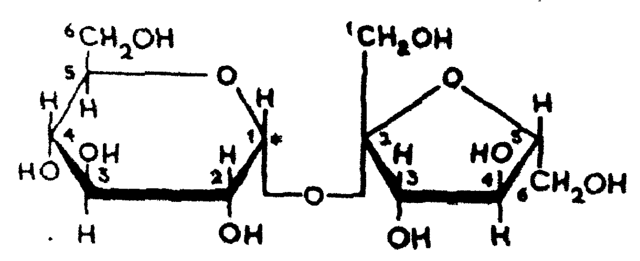
ويترتب على هذا النوع من الاتحاد ان تبقى مجموعة الهيدروكسيل الجلوكوزيدى حرة فى الجزئ ، وبالتالى تظل خصائص هذه المجموعة باقية فى جزئ السكر الثنائى مثل

MALTOSE (*a* FORM)



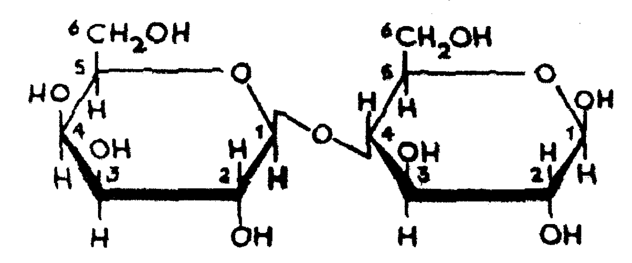
O-*a*-D-Glucopyranosyl-(1→4)-*a*-D-glucopyranoside

SUCROSE



O-*β*-D-Fructofuranosyl-(2→1)-*a*-D-glucopyranoside

LACTOSE (*β* FORM)



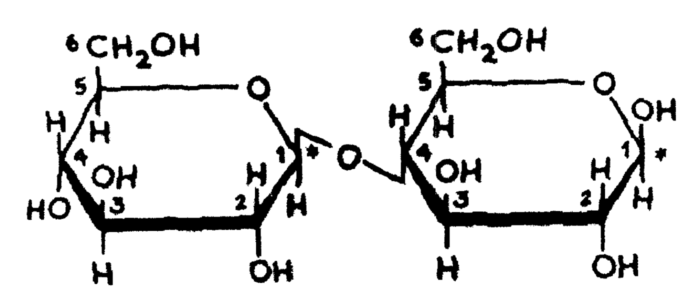
O-*β*-D-Galactopyranosyl-(1→4)-*β*-D-glucopyranoside

شكل (١١) : انواع من الروابط الجلوكوزيدية للسكريات

TREHALOSE (α FORM)

O-α-D-Glucopyranosyl-(1→1)-α-D-glucopyranoside

CELLOBIOSE



O-β-D-Glucopyranosyl-(1→4)-β-D-glucopyranoside

شكل (١٢) : انواع اخرى من الروابط الجلوكوزيدية

القدرة على الاختزال ، ويسمى هذا النوع مـن السـكريات الثنائيـة بالسـكريات المختزلـة او جنتيوبيوز Gentiobiose ومن أفراد هذه المجموعة المانوز Mannose واللاكتـوز Lactose شكل (١١) والسليوبيوز Cellubiose شكل (١٢).

المالتوز Maltose

وهو سكر المولت Molt Suger وينتج من تحلل النشـا ، وهـو بـدوره يتحلـل الى جزئين من الفا – د- جلوكوبيرانوز تحت تأثير الاحماض المعدنية المختلفة او انزيم المـالتيز Maltase ويوضح شكل ١١ التركيب البنائى للمالتوز .

اللاكتوز Lactose

وهو سكر اللبن ويتكون من بيتا – د جلوكوز و بيتـا – د –جلاكتـوز وكـلا السـكرين الاحـاديين مـن نـوع بيتـا ويتحلـل الاكتـوز بواسـطة الاحمـاض المخففـة او انزيـم اللاكتـيز Lactase شكل ١١.

ثانيا السكريات غير المختزلة Non–Reducing Saccharides

وفيـها يكـون الاتحـاد بـين السـكر الاحـادى والاخـر مـع مجموعـة الهيدروكسـيل الجلوكوزيدى فى كل منهما شكل (١١) ويسمى الاتحـاد (جلوكوزيـد- جلوكزيـد) وتسـمى السكريات الثنائية المتكونة عن هذا الاتحاد من النوع (تريـهالوز Trehalose) ويـترتب على هذا النوع من الاتحاد ان تفقد كـل مـن مجموعتـى الهيدروكسـيل الجليكوزيـدى فـى الجزئين الاحاديين المكونـين للسـكر الثنـائى قدرتـهما الاختزاليـة ، وبالتـالى يفقـد السـكر خواصه الإختزالية ، ولذلك يسمى نوع السكر المتكون بهذه الطريقة بسـكر غـير مخـتزل ، ومن افراد هذه المجموعة : السكروز

السكروز Sucrose

وهو سكر القصب ، ويتكون من الفا – د – جلوكويبرانوز بيتـا – د – فركتوفورانـوز شكل (١١) ويتحلل هذين السكرين بواسطة انزيم الانفرتيز Invrrtase

السكريات العديدة (غير الحقيقية)

وتنقسم الى قسمين هما :

السكريات العديدة المتجانسة Homopolysaccharides

وهى مركبات معقدة يحتوى كل مركب منها على نوع واحد مـن السـكر الاحـادى ، وينتمى الى هذا القسم كـل مـن النشـا Starch ، الجلايكوجـين Glyogen والسـيليلوز Cellulose الدكسـترون Dextron وهـذه الاربعـة تتكـون مـن الجلوكـوز، والشـيتن Chitin ويتكون من احد مشتقات الجلوكوز الامينية ، والانيولين Anulin ويتكون مـن الفركتوز ، المانان Mannin ويتكون مـن المـانوز والجلاكتـان Galctin ويتكـون مـن الجلاكتوز والارابان Araban ويتكون من الارابيتوز

السكريات العديدة غير المتجانسة Hetroplysaccharides

وهى مركبات يحتوى الواحد منها على انواع مختلفة من السكر الاحـادى ، ويدخل ضمـن هـذا النـوع مـن السـكريات كـل مـن : الهيبـارين Heparin ومـواد مجـاميع الـدم والكندرتين حامض الكبريتيك.

ونتكلم عن اهم انواع السكريات العديدة من الناحية البنائية فيما يلى :

النشـــــــــــا
STARCH

يوجد النشا فى المملكة النباتية فقط ، فيخزن فى الحبوب والدرنات والثمار فى صورة حبيبات تعرف بالحبيبات النشوية Starch grains وتنبعـج حبيبـات النشـا فـى المـاء الساخن (٦٠- ٨٠م) وينتج مخلوط مـن مركبـين عديـدى الجلوكوزيـد لهمـا اوزان جزئيـة عالية هما : الاميلوز Amylose والاميلوبكتين Amylopectin ويكون الاميلوز الطبقـة الداخلية للحبة النشوية ، وهو يذوب فى الماء ويلون اليود باللون الازرق الداكن ويمثل ثلث وزن حبة النشا تقريبا فى حين يكون الاميلوبكتـين الطبقـة الخارجـة ولا يـذوب فـى المـاء ويكون محلولا غرويا ويعطى لونا ارجوانيا خفيفا مع اليود .

الاميلوز Amylose

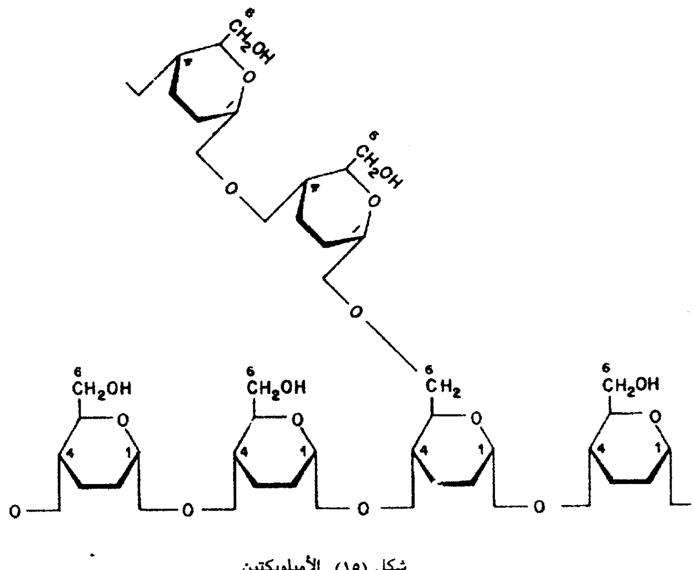
يتكون الاميلـوز مـن سلسـلة مسـتقيمة طويلـة تحتـوى علـى ٣٠٠ وحـدة مـن بواقـى [الفا – د – جلوكوبيرانوز] متصلة ببعضها بواسطة روابط جلوكوزيدية من النوع الفا (١-٤) فقط بمعنى ان جسور الاكسجين تنشأ على حساب اتصال الهيدروكسيل الجلوزيدى الموجود على ذرة الكربون الاولى لاحد جزيئات الالفا – د – جلوكوبيرانوز بالهيدروكسـيل الكحـولى المتصل بذرة الكربـون الرابعـة للجـزئ الآخـر (شـكل ١٣) الا ان هـذه السلسـلة المسـتقيمة للاميلوز تكون على هيئة وحدات مجمعة فى انتظام حلزونى ، وتتكون كل وحدة من سـت بقايا من الجلوكوز شكل (١٤) .

شكل (١٣) الأميلوز

شكل (١٤) الشكل الحلزونى للأميلوز

الاميلوبكتين Amyobectin

الاميلوبكتين يتكون من سلاسل متشعبة تحتوى كل شعبة منها علـى ١٨ وحـدة مـن بقايا الجلوكوز تتبادل مع وحدات قصيرة ذات ثمان وحدة (شكل ١٥) .



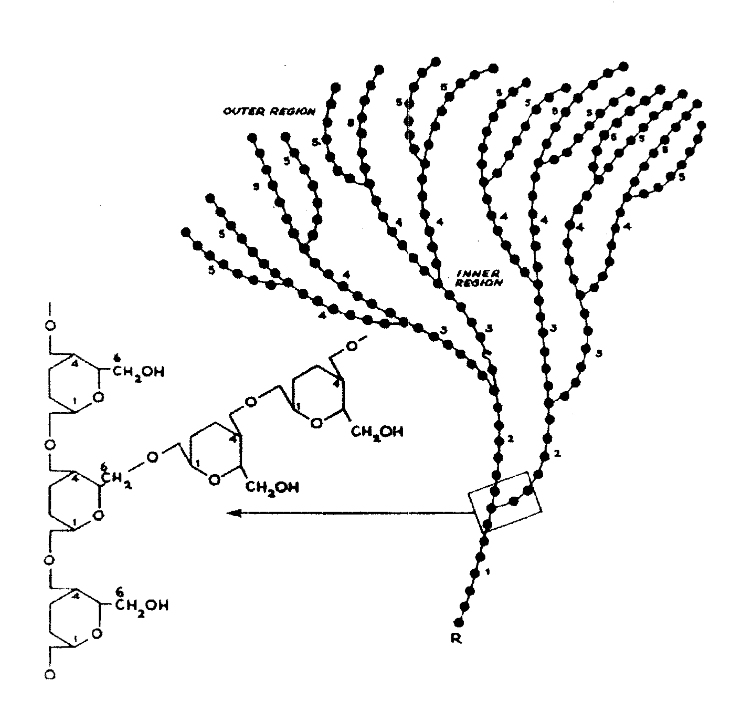
شكل (١٥) الأميلوبكتين

وتتكون السلسلة الواحدة من الفا – د جلوكوبيرانوز بروابط جليكوزيدية (الفا ١–٤) مثل الاميلوز بينما ترتبط السلاسل فيما بينها بروابط جلوكوزيدية من النوع (الفا ١–٦) لتعطى الجزء المتشعب من جزئ الاميلوبكتين فى (شكل١٦)

الجليكوجين
Glycogem

يعتبر الجليكوجين المادة الغذائية المخزنة فى اجسام الانسان والحيوانات وهو يذوب جيدا فى الماء الساخن ، ويعطى تفاعلات لونية مع اليود ، وهو اقرب الى الاميلوبكتين منه

الى الاميلوز ، بل هو يشبه الاميلوبكتين الى حد كبير من حيث التركيب البنائى إذ أن بناءهما واحد الا ان الاختلاف ينحصر فى ان متوسط طول سلاسل جزئ الجليكوجين التى ترتبط بالرابطة الفا (١-٦) قصيرة (١٢جلوكوبيرانوز) فى حين انها فى الاميلوبكتين طولها ٢٠ وبهذا يكون جزئ الجليكوجين اكثر تماسكا .



شكل (١٦) البناء المتشعب للأميلوبكتين

السليولوز
Cellulose

ويعتبر السليولوز السكر العديد البنائى الرئيسى فى النباتات ، ويمثـل الجـزء الاكـبر من مصادر الالياف او الكربوهيدرات عموما فى غـذاء المجـترات ، ويتكـون السـيلولوز مـن العديد من بقايا (بيتـا – د – جلوكوبـيرانوز) مرتبطـة مـع بعضـها بروابـط (بيتـا ١–٤) بطريقة خطية وهـو يشـبه فـى ذلـك الاميلـوز ، شـكل (١٧) ويكـون شـكل بيتـا – د – جلوكوبيراموز على شكل كراسى شكل (١٨) ويتشابه الاميلوز مع السيلولوز تمامـا فـى كـل شئ الا فى اربعة فروق هى :

الفـــــــــروق	الاميلوز	السليولوز
وضع الهيدروكسيد الجلوكوزيدى	فى الوضع الفا	فى الوضع بيتا
الشكل الفراغى للحلقة السداسية للجلوكوز	شكل مركب	شكل كرسى
طول الســــــلسلة	قصيرة حوالى ٣٠٠ من بواقى الجلوكوز	طويلة جدا تبلغ عدة الاف مـــن بواقـــى الجلوكوز
الوزن الجزيئى	٢٠ – ٢٠٠ الف	١٠ – ٢٠ مليون

الدكسترين
DEXTRIN

يحتوى جزئ الدكسترين على عدد اقل من الوحـدات الجليكوزيديـة (الجلوكـوز) وهو يشبة بنائيا جزئ الاميلوز ولكنه اصغر منه ولذلك فهو يتكون كناتج (وسطى) لتحليل النشا

Cellulose type structure,
4-D-glucopyranosyl-β-D-glucopyranoside linkages

شكل (١٧) السيليلوز

شكل (١٨) الشكل الفراغى للجلوكوز فى السيليلوز

مائيا الا انه ايضا يوجد على حالته هذه فى الطبيعة إينما وجد النشا فـى النبـات ويعـرف باسم " صمغ النشا "او "الصمغ الانجليزى" ويعتقد ان وجوده فى النبات يمثـل الحلقـات الوسطية فى تخليق النشا ، ويوجد الدكسترين ايضا فى عسل النحل ويتميز الدكسترين عن النشا فى انه يذوب فى الماء ولا يعطى المظهر الغروى Gel اذا سـخن محلولـه كمـا فـى النشا كما ان مذاقه حلو .

الدكستران
DEXTRAN

هو مركب يشبه النشا الى حد كبير وهو متفرع مثل الاميلوبكتين ولكن اقل تفرعا وهـو يخلق بواسطة الاحياء الدقيقة وخاصة البكتريا ، وللدكســتران وزن جزيـئ عـالى جـدا فلـه اعلى وزن جزيئ فى المركبات الكربوهيدراتية إذا يتراوح بين ١٢ مليون ومليار .

الانيولين
ONULIN

وهو من مجموعة الفركتوزنـات ويتكـون مـن سـكر الفراكتـوز D- fructose وهـو مسحوق ابيض شحيح الذوبان فى الماء البارد ، ولكنه سهل الذوبان فى الماء الساخن ويوجد بكثرة فى الداليا والطرطوفة وبعض جذور الدرنيات والانيولين لاتوجد له انزيمـات هاضمـة فى القناة الهضمية للحيوانات الراقية ومن ثم فـهو ان وجـد فـى الغـذاء فإنـه يمـر بالقنـاة الهضمية من غير هضم الا فى المجترات .

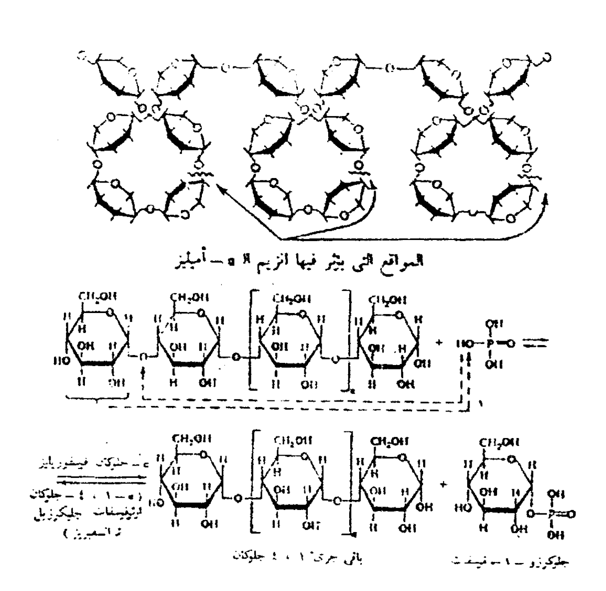
هضم الكربوهيدرات
DIGESTION OF CARBOHYDRATES

يتم هضم السكريات العديدة والقليلة التسكر الى مركبات ابسط عن طريق نوعين من التفاعلات هما : التحلل المائى ، والتحلل الفوسفورى .

ويتم التحلل المائى فى القناة الهضمية للحيوانات الراقية والطيـور بواسـطة نوعـين من الانزيمات المحللة للنشا هما:

انزيم الفا اميليز : α- amylase

ويقوم هذا الانزيم بتحليل الروابط الجليكوزيدية من النـوع ١-٤ والتـى توجـد فـى جزيئات النشا، ويحدث ذلك التحلل دون نظام معـين ، ولذلـك تنتـج فـى بدايـة التحلـل سكريات قليلة التسكر ثم تتعرض بدورها بعد ذلك لفعل انزيم الالفـا اميلـيز مـرة اخـرى ، ويكون المالتوز بمثابة الناتج النهائى الرئيسى فى عملية تحلل النشـا مائيـا بمسـاهمة الالفا مالتيز ، وذلك نظرا لان السكريات الثنائية ذات الرابطـة ١-٤ لاتتحلـل مائيـا بفعـل هـذا الانزيم

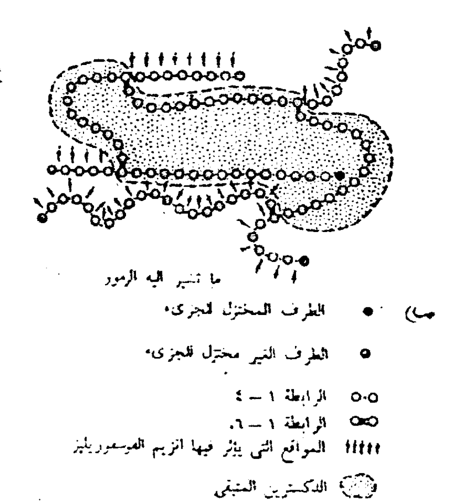


شكل (١٩).

شكل (١٩) فعل انزيم الأميليز على الرابطة (١ – ٤)

انزيم اميليو ١، ٦ جلوكوزيديز Amylo 1,6 glucosidase

وهو يحلل جزئ النشا عند اماكن تفرع سلسلة عديد الجليكوزيد، ويكون السكريات قليلة التسكر شكل (٢٠).



(أ)
ما تشير اليه الرموز
الطرف المختزل لجزئ النشا
الطرف الغير مختزل لجزئ النشا
الرابطة ١ – ٤
الرابطة ١ – ٦
المواقع التى تؤثر فيها انزيمات الأميليز المختلفة

شكل (٢٠) فعل انزيم اميلو– ١–٦ جلوكوزيديز على الرابطة (١ – ٦)

اما الانزيمات المحللة للسكريات الثنائية الاكثر شيوعا فى غذاء الحيوان والدواجن فهى ثلاثية :

السكريز او (**الانفرتيز**) المحلل لسكر القصب الى جلوكوز وفركتوز

الاكتيز المحلل لسكر اللبن الى جلوكوز وجلاكتوز

المالتيز المحلل لسكر الشعير الى جلوكوز.

وغالبا مايتم الهدم فى القناة الهضمية بهذه الصورة السابقة (التحلل المائى) اما التحليل الفوسفورى فهو يحدث فى الكبد والعضلات ، ويختلف عن التحلل المائى انه يضيف الى المواد الناتجة من التحليل جزئ حمض الفوسفوريك فى حين ان التحلل المائى يضيف جزئ الماء.

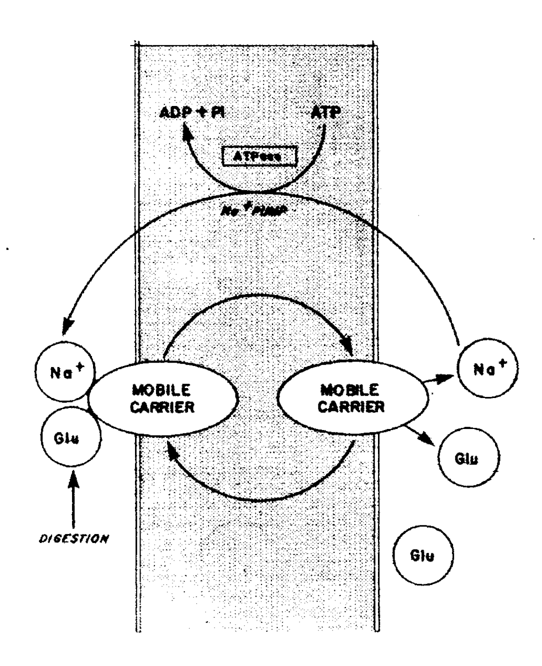
كيمياء الامتصاص

Chemistry of Absorption

امتصاص السكر Sugar absorption

المركب الحامل للسكر غير متحرك فى غياب ايون الصوديوم ويكون متحرك فى وجوده وفى شكل (٢١) توضيح لامتصاص الجلوكوز و يتضح ان الجلوكوز يشترك مع الحامل وايون الصوديوم فى الخميلة الدقيقة ويرحلون معا الى الجانب القريب من الغشاء حيث يفترقون فينطلق الجلوكوز وايون الصوديوم الى السيتوبلازم ، ويخرج الصوديوم الى خارج الخلية حتما بالنقل النشط ، واما الجلوكوز فيبقى فى السيتوبلازم ، وعلى ذلك فهو

لاينقل بدون الصوديوم ، او بمعنى اخر فان السكر يحتاج الى ايون الصوديوم لحركته ولكـن ايون الصوديوم يحتاج الى طاقة من ATP لنقله النشط الى خارج الخلية ، والطاقة المخزنـة فى ATP التى تفتقد خلال امتصاص السكر تـأتى مـن الاحمـاض الدهنيـة . ومعـدل نقـل السكر يعتمد على تركيز الصوديوم فـى الوسـط وان تثبيـط ايـون البوتاسـيوم K^+ لامتصـاص السكر يرجع الى تدخله فى نقطة الالتقاء بين الصوديوم الحامل كما ان تركيز الصوديوم ايضا له تاثير على نقل كثير من المواد الاخرى غير السكر مثل الاحماض الامينيـة ، واليوراسـيل واملاح الصفراء وغيرها .



شكل (٢١) امتصاص الجلوكوز بالنقل النشط

ايض السكريات

SACCHARIDES METABOLISM

الفسفرة

اول خطوة تتم على السكريات الاحادية التى يتم امتصاصها او هدمها داخل الجسم هى عملية الفسفرة او التنشيط بالطاقة قبل ان تتم عليه بقية عمليات التمثيل الغذائى الاخرى وتتم هذه العملية بتفاعل السكر مع (ATP) وذلك بواسطة انزيمات الكينيز .

جلوكوز + ATP ←(جلوكوكينيز)— جلوكوز - ٦- فوسفات + ADP

فركتوز + ATP ←(فركتوكينيز)— فركتوز -٦- فوسفات + ADP

ريبوز + ATP ←(ريبوكينيز)— ريبوز - ٥- فوسفات + ADP

مصادر الجلوكوز -٦-فوسفات

لهذا المركب ثلاثة مصادر هى :

(١) فسفرة الجلوكوز الناتج عن التحلل المائى لعديدات او قليلات التسكر .

(٢) التحول عن مركب جلوكوز -١- فوسفات الناتج عن التحلل الفسفورى لعديدات او قليلات التسكر .

(٣) التحول عن طريق التعديل الايزوميرى للسكريات السداسية مثل الفركتوز -٦- فوسفات .

هدم الجلوكوز -٦- فوسفات

يجرى هدم الجلوكوز -٦- فوسفات بصفة رئيسية من خلال مسلكين يتم فى الاول منها مرحلة معينة من مراحل هدم الجزئ الذى يحتوى كل منهما على ست ذرات من الكربون ثم انقسام الجزئ الى جزئين يحتوى كل منهما على ثلاثة ذرات كربون اى بمعنى اخر ينقسم الجزء مناصفة ويطلق على هذا المسلك اسم الهدم الدخوتومى اما المسلك الثانى فينحصر فى فقدان ذرة الكربون الاولى من جزئ الجلوكوز -٦- فوسفات ، ويطلق على هذا المسلك اسم الهدم الايوتومى .

المسلك الديخوتومى

ويتم ذلك بالخطوات التالية .

(١) تحول الجلوكوز -٦- فوسفات الى فركتوز -٦- فوسفات

(٢) تحول الاخير الى فركتوز ٦:١ ثنائى فوسفات نتيجة الفسفرة مرة اخرى فى موضع ذرة الكربون الاولى .

(٣) ينقسم الاخير الى مركبيين يكون لكل منهما القدرة على التحول للاخر وهما

٣- فوسفو جلسيرالدهيد و فوسفو ثنائى هيدركسى اسيتون

(٤) يتحول ٣-فوسفوجلسرالدهيد الى ١، ٣ ثنائى فوسفوجلسرات ثم الى ٣- فوسفوجلسرات ، ثم ٢فوسفوجلسرات ثم فوسفو اينول بيروفات .

. (٥) ويتحول الاخير الى حمض البيروفيك وهو الناتج النهائى لهدم السكر بعد ذلك يسلك هذا الحمض احد طرق عديدة تختلف بإختلاف الظروف التى يتم فيها ايض الكربوهيدرات .

ايض حمض البيروفيك

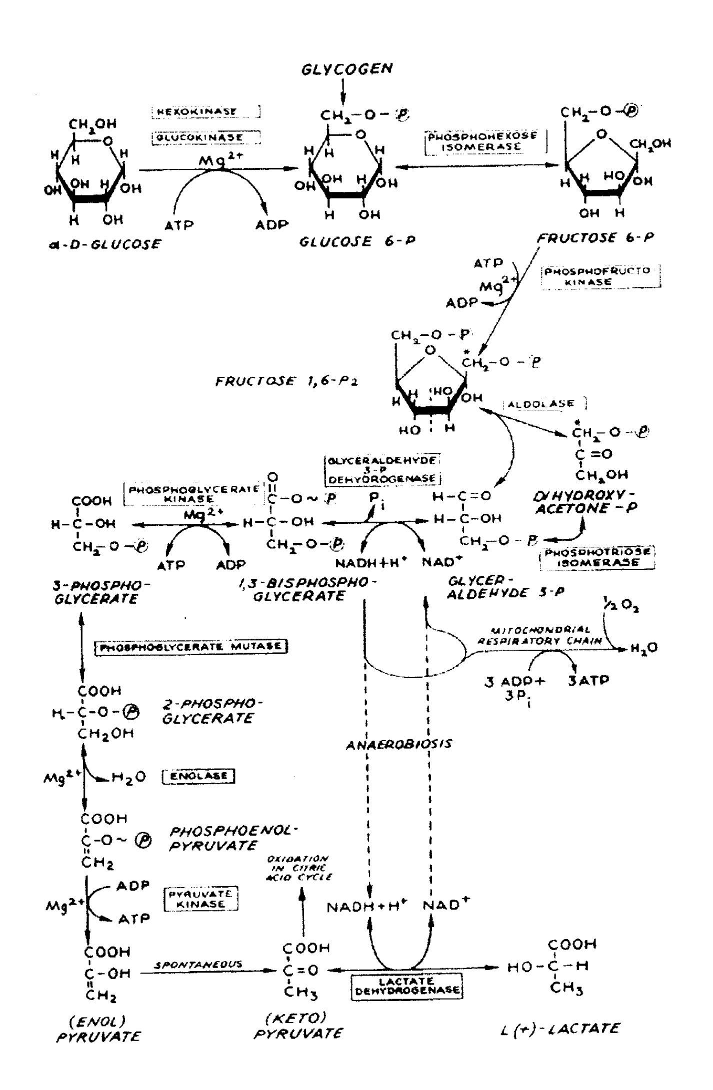
PYROVI ACID METABOLISM

(١) فى حالة قلة الاكسجين يتم تحول حمض البيروفيك الى حمض الاكتيك :

ويطلق على عملية هدم الكربوهيدرات إذا ادت الى هذه النتيجة النهائية (عملية الجلكزة Glucolysis) او عملية (الجلكنة Glycolysis) ففى حالة ما إذا كان السكر هو المركب الكربوهيدراتى الذى بدا التفاعل سميت (جلكزة) وفى حالة ما إذا كان الجليكوجين هو الذى بدا التفاعل به سميت هذه العملية (جلكنة) .

وتعتبر هاتين العمليتين وسيلة سريعة للحصول على الطاقة فى ظروف لاهوائية وهو ما يحدث فى العضلات إذا اجهدت فى مجهود قوى مفاجئ او عند بقاء الحيوان او الانسان فى مكان قليل التهوية او فى الزحام إذ يتراكم فيها حمض الاكتيك الناتج ويسبب الما فيها،وعند تحسن الظروف الهوائية يؤكسد حمض الاكتيك الى ثانى اكسيد الكربون والماء.

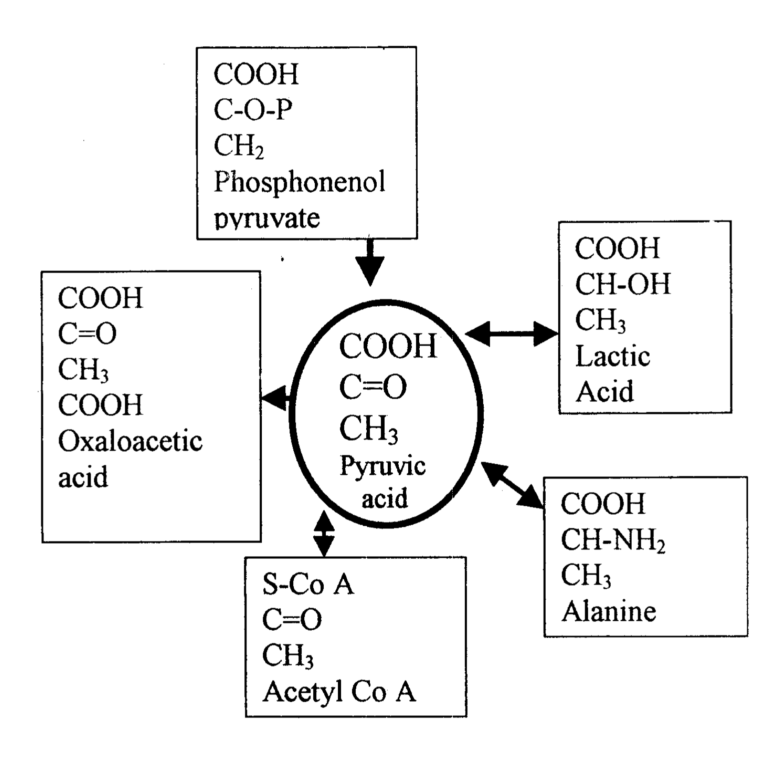
(٢) **فى حالة توفر الاكسجين** : يتحول حمض البيروفيك بمساعدة مرافق انزيم Co.A الى حمض الخليك النشط Acetyl Co A الذى يتحول الى دورة حمض الستريك مكونا حمض الستريك اول احماض هذه الدورة ، و هذه هى احدى نقاط الالتقاء مع ايض الدهون.



شكل (٢٢) خطوات هدم الجلوكوز

(٣) **يتحول الى الالانين** و هو حمض اميني و هذه هي احدى نقاط الالتقاء مع ايض البروتينات

(٤) **يتحول الى اكزالو حمض الخليك** في دورة الستريك مباشرة



شكل (٢٣) مسالك حمض البيروفيك

الفصل الثانى

كيمياء الليبيدات

LIPIDS

مقدمة

تدل كلمة ليبيد Lipid أو ليبويـد Lipoid علـى مجموعـة هامـة مـن المركبـات الحيوية التى لا تذوب فى الماء ، ولكنها تذوب فى المذيبات العضوية مثل : الاثير والبنزين والكلوروفورم وتعتبر الدهون من الناحية الكيميائية استرات الاحماض الدهنية او العضوية ، وهى توجد فى الانسجة النباتية والحيوانية على حد سواء .

تقسيم الليبيدات

تنقسم الليبيدات الى ثلاثة اقسام رئيسية هى

اولا الليبيدات البسيطة SIMPLE LIPIDS

وهى عبارة عن مواد مركبة من جزئين :

(١) **احماض دهنية** (وهى احماض عضوية عالية) والكحولات او هـى اسـترات الاحماض الدهنية مع الكحولات .

وتنقسم بدورها الى ثلاثة اقسام تبعا لنوع الكحول المكون للاستر :

(١) الدهون الطبيعية **Fats** : و هى الجلسريدات الثلاثيـة ، او هـى عبـارة عـن استرات الأحماض الدهنية مع الجلسرين ، وهى اما ان تسمى شحوم **FATS** إذا كـانت صلبة فى درجة حرارة الغرفة وهى فى الغـالب مـن مصـدر حيوانـى ،أو زيـوت **Oils** اذا **كانت سائلة فى درجة حرارة الغرفة وهى غالبا** ما يكون مصدرها نباتى.

(٢) الشـــموع **Waxes** وهـى عبـارة عـن اسـترات الاحمـاض الدهنيـة مـــع الكحولات العالية الاخرى مثل الكحولات مثل الكحولات الالفاتية طويلة السلسـلة ، وقـد يسميها البعض الشموع الحقيقية True Waxes.

(٣) السترويدات **Stroides** : وهى عبارة عن اســترات الاحمـاض الدهنيـة مـع الكحولات شبه الحلقية المسماة بالسترولات Sterols اى هى استرات الاحمــاض الدهنيـة مع السترولات .

ثانيا : الليبيدات المركبة (المرتبطة)

Compound lipids

وهى عبارة عن مواد تتكون جزيئاتها من عدة مركبات تتصـل فيمـا بينـها بروابـط مختلفة وهى تتكون من احد الانواع الثلاثة لليبيدات البسيطة متحدة مع مركبـات عضويـة اخرى او مركبات عضوية ومعدنية ، وهى تنقسم بدورها الى ثلاثة اقسام تبعا لنوع المركب ، او المركبات الاخرى المرتبطة مع الليبيدات البسيطة :

* الفوسفوليبيدات Phospholipids وهى تحتوى على ليبيدات بسيطة مرتبطة مع حمض الفوسفوريك .

* الجلوكولبيدات Glucolipids وهى تحتوى على ليبيدات بسيطة مرتبطة بأنواع من الكربوهيدرات .

* الليبيدات البروتينية Lipoproteins وهى تحتوى على ليبيدات بسيطة مرتبطة مع البروتينات .

ثالثا : الليبيدات المشتقة
Derivative lipids

وهى عبارة عن اجزاء متبقية بعد تحلل الانواع السابقة سواء البسيطة أو المرتبطة وتشتمل على الاحماض الدهنية Fatty acid والسترولات والاجسام الكيتونية وغيرها وفيما يلى شرحها مفصلا لتركيب المجموعات الليبيدية التى سبق ذكرها .

الاحماض الدهنية
FATTY ACID

الاحماض الدهنية عبارة عن احماض عضوية عالية ، اى ذات سلسلة اليفاتية طويلة الا انه شاع الاستعمال الكيميائى بان يطلق على الاحماض العضوية اذا زاد عدد الكربون فيها عن ٦ ذرات كربون بالاحماض الدهنية والاقل من ذلك بالاحماض العضوية ، الا انه فيما يتعلق بكيمياء التغذية تسمى جميع الاحماض العضوية احماضا دهنية اذا كانت اليفاتية ووحيدة الكربوكسيل ، وتسمى على وجه الخصوص الاحماض القصيرة (اقل من ٦

ذرات كربون) بالاحماض الدهنية قصيرة السلسلة او الاحماض الدهنية الطيارة ، وعلى وجه العموم تتركب الاحماض الدهنية كيميائيا كالاتى :

$$CH3\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CCOH$$

وتسمى الاحماض الدهنية تبعا لعدد ذرات الكربون ، ونلاحظ ان الاختلاف بين الاحماض الدهنية ينحصر فيما يلى :

١-عدد ذرات الكربون ، وهذا العامل هو طول او قصر سلسلة الحمض الدهنى

٢- الروابط بين ذرات الكربون هل هى مشبعة ام غير مشبعة

٣-عدد الروابط الزوجية الموجودة فى الجزىء ان وجدت .

٤- نوع الرابطة الزوجية .

تسمية الحمض الدهنى

الاسم الكيميائى للحمض الدهنى لابد ان يعبر عن حالة الحمض بالنسبة للعوامل الاربعة السابقة فبالنسبة لعدد ذرات الكربون ، يسمى الحمض بالاسم المشتق من عدد ذرات الكربون باللغة اليونانية مع مقطع (Anoic)إذا كان مشبعا و (Enoic)إذا كان غير مشبع ، اما عدد الروابط واماكنها فتذكر برقم ذرة الكربون التى عليها الرابطة بداية من ذرة الكربون فى مجموعة الكربوكسيل ، ويسبق اسم الحمض بمقطع (Trans) إذا كانت ذرات الهيدروجين بالتبادل على جانبى ذرات الكربون فى الرابطة ، وبمقطع (Cis) اذا كانت فى جانب واحد منها ، وعلى ذلك يكون الحمض الدهنى (n- Decanoic acid) وهو الكابريك Capricيعنى انه حمض يحتوى على ١٠ ذرات كربون.

الرابطة CIS الرابطة TRANS

$$\begin{matrix} H & H \\ -C & = & C- \end{matrix} \qquad \begin{matrix} & H \\ -C & = & C- \\ H & \end{matrix}$$

ويكون الحمض الدهنى (Cis 9- Hexadecenoic acid) وهـو البـاليتوليك Palmitoleicويعنى انه حمض غير مشبع يحتوى على ١٦ ذرة كربون وبه رابطة زوجية واحدة على ذرة الكربون رقم ٩ وتقع ذرتى الهيدروجين على وجه واحد من الرابطة وتركيبه البنائى كالاتى $CH_3-(CH_2)_5-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$ وفيما يلى اسماء وتركيب الاحماض الدهنية الشائعة .

والغالب فى الاحماض الدهنية ان تكون :

(١) ذات عدد زوجى من ذرات الكربون (٢) ذات مجموعة كربوكسيل واحدة

(٣) ذات سلسلة مستقلة (٤) يوجد منها المشبع وذو الروابط الثنائية (مفرد ومثنى وثلاث ورباع) إلا انه يشذ عن هذه القاعدة افراد قليلة نادره الوجود مثل :

أ – تشذ من القاعدة حـامض الايزوفاليريك ذو عـدد فـردى (٥ ذرات كربـون) وحمـض البربيونيك (٣ ذرات كربـون) وهـى فـى مجموعـة الاقـل مـن(٦ ذرات كربـون) الاحماض الدهنية الطيارة .

ب – تشذ بعض الاحماض ذات السلسلة المتفرعة مثل الجورليك Gorlic

ج – تشذ بعض الاحماض التى تحتوى على خمس روابط زوجيـة مثـل : Clupanodonic acid

البيوتيريك $(C_4H_8O_2)$

$CH_3-(CH_2)_2-COOH$

الايزوفاليريك $(C_5H_{10}O_2)$

$$\begin{matrix} CH_3 \\ CH_3 \end{matrix} > CH-CH_2-COOH$$

الكابرويك $(C_6H_{12}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_4-COOH$

الكابريليك $(C_8H_{16}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_6-COOH$

الكابريك $(C_{10}H_{20}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_8-COOH$

اللوريك $(C_{12}H_{24}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_{10}-COOH$

الميريستيك $(C_{14}H_{28}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_{12}-COOH$

البالميتيك $(C_{16}H_{32}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_{14}-COOH$

الستياريك $(C_{18}H_{36}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_{16}-COOH$

الاراكيديك $(C_{20}H_{40}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_{18}-COOH$

البهينيك $(C_{22}H_{44}O_2)$

$CH_3(CH_2)_{20}-COOH$

الليجنوسيريك $(C_{24}H_{48}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_{22}-COOH$

السيروتيك $(C_{26}H_{52}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_{24}-COOH$

الاحماض غير المشبعة

أ ـــ ذات رابطة زوجية واحدة

البالميتو اوليك $(C_{16}H_{30}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_5-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$

الأوليك $(C_{18}H_{34}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$

الاروسيك $(C_{22}H_{42}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_{11}-COOH$

النرفونيك $(C_{24}H_{46}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_{13}-COOH$

ب ـــ ذات عدة روابط زوجية

اللينوليك $(C_{18}H_{32}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_3-(CH_2-CH=CH)_2-(CH_2)_7-COOH$

اللينولينيك $(C_{18}H_{30}O_2)$

$CH_3-(CH_2-CH=CH)_3-(CH_2)_7-COOH$

الاراكيدونيك $(C_{20}H_{32}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_4-(CH=CH-CH_2)_4-(CH_2)_2-COOH$

جـ ـــ ذات رابطة ثلاثية

التاريرينيك $(C_{18}H_{32}O_2)$

$CH_3-(CH_2)_{10}-C\equiv C-(CH_2)_4-COOH$

الاحماض الحلقية

الهيدنوكاربيك $(C_{16}H_{28}O_2)$

$$\begin{matrix} CH=CH \\ | \\ CH_2-CH_2 \end{matrix} > CH-(CH_2)_{10}-COOH$$

الشولموجريك $(C_{18}H_{32}O_2)$

$$\begin{matrix} CH=CH \\ | \\ CH_2-CH_2 \end{matrix} > CH-(CH_2)_{12}-COOH$$

د – يشذ عن القاعدة ايضا بعض الاحماض التى تحتوى على رابطة ثلاثية مثل :
التارابينيك C18:5

ويشيع حمض الاوليك بنسبة كبيرة فى الدهون الطبيعية (حيث تزيد كميتـه عـن ٣٠٪ فى الغالبية العظمى من الدهون) ثم يلية حمض البالمتيك وتتراوح كميتة (بين ١٥– ٥٠٪) فى اغلب الأحيان ولهذا السبب تتبع أحماض الاوليك والباليتيك مجموعة الأحماض الدهنية الأساسية للدهون.

وتوجد الأحماض الدهنية الأخرى فى الدهون الطبيعية بكمية قليلة (عدة وحدات قليلة فى المئة) باستثناء عدد قليل من الدهون الطبيعية التى تحتوى علـى كميـة مـن هـذه الاحماض تقدر بعشرات فى المائة ، فمثلا توجد احماض الكـابريك بكـثرة فـى زيـت جـوز الهند ويدخل حمض الايروسيك فى تركيب زيت الشلجم بنسبة تتراوح بين ٤٠ – ٧٥٪

وتتميز الدهون الحيوانيـة والنباتيـة ببعـض الخصـائص العامـة : فتكـون الدهـون الحيوانية اكثر تنوعا من حيث مجموعة الأحماض الدهنية العالية التى تدخل فى تركيبـها وعلى وجه الخصوص يشع من بين الأحماض الأخيرة وجود الأحماض الدهنية العالية ذات ذرات الكربون بين ٢٠ – ٢٤ ذرة اما فى الدهون النباتية فتكون حصـة الأحمـاض الدهنيـة العالية غير المشبعة جدا (تصل الى ٩٠٪) بينما يوجد من الاحماض المشبعة عالية حمـض البالميتيك فقط حيث تتراوح كمية بين ١٠– ١٥٪ .

وتنقسم الجلسريدات الى : جلسـريدات بسـيطة واخـرى مختلطـة ، وتكـون الاولى منها عبارة عن استرات للجلسرين مع احد الاحمـاض الدهنيـة العاليـة ، كمـا هـو موضـح بالمثال التالى: شكل (٢٤)

$$CH_2 - O - CO - (CH_2)_{14} - CH_3$$

$$CH_2 - O - CO - (CH_2)_{14} - CH_3$$

$$CH_2 - O - CO - (CH_2)_{14} - CH_3$$

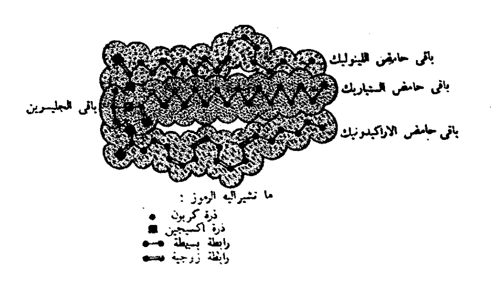
شكل (٢٤) ثلاثى الباليتين

اما الجلسريدات المختلطة فتكون مبنية من باقى الجلسرين وبواقى احماض دهنيـة مختلفة شكل ٢٥

بالميتو–ثنائى السترين	باليتو– ستيرو– اولين
$CH_2-O-CO-(CH_2)_{14}-CH_3$	$CH_2-O-CO-(CH_2)_{14}-CH_3$
$CH-O-CO-(CH_2)_{16}-CH_3$	$CH-O-CO-(CH_2)_{16}-CH_3$
$CH_2-O-CO-(CH_2)_{16}-CH_3$	$CH_2-O-CO-(CH_2)_7-CH=CH(CH_2)_7-CH_3$

شكل (٢٥)

ويمثل شكل (٢٦) شكلا تخطيطيا عاما للجلسريدات الثلاثية



شكل (٢٦) البناء العام للدهون الطبيعية

وتكون حصة الجلسريدات الثلاثية البسيطة غير شائعة فى الدهون الطبيعيـة التـى تحتوى على خليط من الجلسريدات الثلاثية المتنوعة بينما يمكـن ان تكـون النسـبة المئويـة لبعض الجلسريدات الثلاثية المختلطة مرتفعة جدا وتتوقف الخواص الطبيعية للجلسـريدات الثلاثية على طبيعة الاحماض العالية الداخلة فى جزيئاتها فإذا كـانت الاحمـاض الدهنيـة المشبعة (الصلبة) هى السائدة فى الجلسريدات الثلاثية فـإن تلـك الجلسـريدات الثلاثيـة تصبح ايضا صلبة بينما اذا كانت الاحماض الغير مشبعة (السائلة) هى السائدة فإن درجة حرارة انصهار تلك الجلسريدات الثلاثية تكون منخفضة ، وتتـأثر بنفـس الطريقـة الدهـون الطبيعية ايضا .

عملية التصبن SAPONIFCATION

ومن اهم الصفات الكيميائية التى تميز الدهون هى قدرتـها علـى التصـبن بفعـل المحاليل المائية للقواعد ويطلق على املاح الاحماض الدهنية العالية التى تنتج عن ذلك اسم الصابونـات ، ومـن هنـا اخـذت عمليـة تفكـك الروابـط الاسـتيرية اسـم عمليـة التصـبن Saponification.

وعلى غرار ذلك يؤدى غليان الدهون مـع المحـاليل المائيـة للاحمـاض المعدنيـة او تحضينها مع الانزيمات الخاصة الى تحليلها مائيا ممـا يصحبـه تكـون الاحمـاض الدهنيـة الحرة و الجلسرين ، وعلى الرغم من عـدم تكـون الصـابون فـى هـذه الحالـة الا ان تفكـك الجلسريدات الثلاثية بالتحليل المائى hydrolyses مثله كمثل اى مـن الاسـترات الاخـرى يسمى ايضا بتفاعل التصبن Saponification ويستخدم هذا التفاعل على نطـاق واسـع فـى

الصناعة للحصول على الاحماض العالية الحــرة ، وتبـدا بنفس هـذا التفـاعل فـى الجسـم عمليات هدم الدهون .

هدرجة الدهون Hydrogenation

ويمكن للجلسريدات الثلاثية الدخول فى التفـاعلات كيميائيـة عـن طريـق الشـق الهيدروكربونى الخاص ببواقى الاحماض الدهنية ، واهم هـذه التفـاعلات هدرجـة الدهـون الذى ينحصر فى اختزال بواقى الاحماض المشبعة ، وتتحول الدهون عند ذلك مـن حالتـها السائلة الى حالة صلبة ، ويمكن بهذه الطريقة الحصول على الدهون الغذائية من الزيت.

عملية التزنخ Rancidity

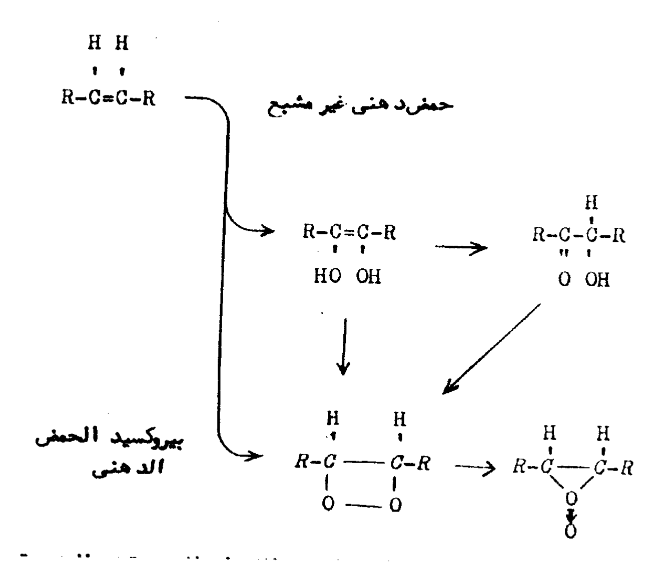
تحدث بعض التغيرات فى خواص الدهون عند تركها معرضة للهواء والرطوبة وفى وجود الضوء والحرارة ويصبح الدهن بعد ذلك فى حالة تزنخ ، وسبب ذلك إنتاج أحمـاض دهنية على الحالة الحرة بسبب تأثيرها بالأنزيمات او بسبب إنتاج الدهيـدات عاليـة ذات رائحة مميزة كما تتكون ايضا فوق اكاسيد عضوية بسبب ارتباط الأكسجين بالروابط الزوجية فـى الاحمـاض الدهنيـة غـير المشـبعة وتسـمى هـذه الاكاسـيد بالبيروكسـيدات العضويـة او البيروكسيدات الدهنية Fatty breoxides شكل (٢٧) والدهون التى تحتوى نسـبة كبـيرة من أحماض غير مشبعة ولا سيما حمض الاوليك تتزنخ بسرعة فى الظروف الملائمـة لعمليـة التزنخ ، والدهن المتزنخ مادة سامة ، وفضلا عن ذلك فان التزنخ يسبب اتلاف فيتامينـات (أ،هـ) لذا تنصب مشكلة حفظ الأغذية على منع حدوث تلف اوتزنخ دهن الغذاء .

$$CH_3(CH_2)_7CH = CH(CH_2)_7-COOH \quad + \quad O_3 \longrightarrow$$

حمض الاوليك — الاوزون

$$CH_3(CH_2)_7-\underset{H}{C}H-O-\underset{H}{C}H-(CH_2)_7-COOH \quad (\text{with } O-O \text{ bridge between the two C})$$

اوزنيد حمض الاوليك



شكل (٢٧) الطرق المختلفة لتكوين البيبروكسيدات فى الأحماض الدهنية غير المشبعة بسبب تعرضها للأكسدة

والتزنخ التحليلي Hydroxlytic rancidity الـذى يحـدث عنـد تعـرض الدهـون او الزيوت للرطوبة يحدث (كما سبق القول) بفعل انزيمات Lipase التى تحلـل الليبيـدات

تحليلا مائيا جزئيا اذا تواجدت للانزيمات ظروف مناسبة ، فتنفرد الاحماض الدهنية التى تعمل على اتلاف خواص الليبيدات ويمكن تلافى مثل التزنخ قبل حدوثه بعدم تهيئة الظروف المناسبة للانزيمات .

والنوع الثانى من التزنخ وهو التزنخ التأكسدى Oxidative rancidity يحدث بسبب اكسدة الاحماض الدهنية الى كيتونات فتأكسد الاحماض الدهنية كما هو معلوم يكون فى الوضع بيتا β تحت تأثير انزيم Peroxidase حيث يهاجم هذا الانزيم الاحماض الدهنية ويحولها الى ميثيل كيتونات.

وقد يحدث التزنخ التأكسدى نتيجة لاكسدة الروابط الزوجية فى الاحماض غير المشبعة فتتكون فوق الاكاسيد التى تتحول الى مشتقات " كيتوهيدروكسيلية " التى تتحول بدورها الى الدهيدات سامة وتختلف أنواع الزيوت و الدهون فى سرعة تزنخها التاكسدى ، فالبعض منها يقاوم عملية التأكسد لفترة ما تعرف باسم (فترة المقاومة) Induction period وطول هذه الفترة له قيمة فى تحديد صفات الدهون او الزيوت ، وتتوقف هذه الخاصية على عدة عوامل منها : وجود مركبات لها خاصية تثبيط عملية التأكسد تعرف باسم مضادات التاكسد Antioxidantsأو قد توجد مركبات تساعد على التزنخ او التأكسد تعرف باسم مولدات التأكسد Pro- oxidantsمثل لاكتات النحاس Copper lactate واملاح النحاس العضوية والحديد والنيكل .

وتنتج مولدات التأكسد عادة أثناء عملية استخلاص وتنقية الليبيدات الخام ، وفى حالة الاخيرة تقل مدة فترة المقاومة ، اما فى حالة وجود مضادات التأكسد فتزداد فترة المقاومة ، وعلى ذلك تكون مضادات التأكسد هى " المواد التى تعمل على تثبيط التزنخ

التأكسدى" وهى مادة عبارة عن مركبات سهلة التأكسد بسبب شراهتها لامتصاص الأكسجين ، ويمكن استخدام بعض المواد لتعمل كمضادات للتأكسد ومنها (هيدروكينون Hydroquinone) الذى يمكن بجزىء منه واحد ان يحمى ٤٠,٠٠٠ جزىء اكرولين لفترة طويلة ويمكن تفسير عمل مضادات التاكسد فى دورة التفاعلات على فرض ان المادة القابلة للتاكسد (X)والمادة المضادة (J) كما يلى :

$$X + O_2 \longrightarrow XO_2$$

$$XO_2 + J \longrightarrow XO + JO$$

$$XO + JO \longrightarrow X + J + O_2$$

الشموع Waxes

الشموع هى استرات الاحماض الدهنية مع كحولات احادية الهيدروكسيل وهى لا تحتوى على جلسرين ، وتوجد فى النباتات على سطح الاوراق والثمار والبذور كما توجد فى الاسماك والحشرات ، ويحتوى شمع النحل بصفة رئيسية على الاحماض الدهنية التى تحتوى على ٢٦ ، ٣٤،٣٢،٣٠،٢٨ ذرة كربون مرتبطة مع كحولات عالية ذات سلسلة مستقيمة تحتوى على ٣٢،٣٠،٢٨،٢٦ ذرة كربون ومن اهم الكحولات التى تدخل فى تركيب الشموع هى كحولات السيتيل والسيريل والمونتانيل والميريسيل

كحول السيتيل Cetyl	$CH_3-(CH_2)_{14}-CH_2OH$
كحول السيريل Ceryl	$CH_3-(CH_2)_{24}-CH_2OH$
كحول المونتانيل Montanyl	$CH_3-(CH_2)_{26}-CH_2OH$
كحول الميريسيل Myricyl	$CH_3-(CH_2)_{28}-CH_2OH$

السترويدات Stroides

تشتمل السترويدات على مجموعة كبيرة من الليبيدات البسيطة ، والسترويدات عبارة عن استرات للكحولات الحلقية ذات البناء الخاص (الستولات) مع الاحماض الدهنية العالية ، ويكون بناء السترولات معقد الى حد كبير ، ويكون اساس جزيئاتها عبارة عن مجموعة حلقية من الذرات التى تتكون من الفينانثرين Phenanthrene المختزل والسيكلوبنتان Cyclopentane تسمى هذه المجموعة الحلقية

فينانثرين

بيرهيدروفينانثرين

سيكلو – بنتان

بيرهيدروسيكلو بنتانوفينانثرين
(ستبران)

كولستان

شكل (٢٨)

Per-hydro-cyclo-pentano- phenanthrene أو سيتران Setran.

واذا اتصل السيتران بسلسلة جانبية من ٨ ذرات كربــون وبمجموعتـى ميثيـل فـى مواضع الكربون ١٠ ،١٣ سمى (الكولستان Cholestan).

ويرقم الكولستان (شكل ٢٨) بالترقيم الخاص بحلقات الفينانثرين ثم حلقة البنتان ثم السلسلة الجانبية ، ويتحول الكولستان عند اكسدته فى موضع الذرة رقم ٣ مــن الحلقـة (A) الى كحـول عديـد الحلقـات واسمـه (كولسـتانول Cholestanol) شـكل (٢٩) وهـــو الاساس لطائفة السترولات وتتكون نواة الكولستانول فى جميع السترولات ما عدا اختلافات بسيطة اما بتكوين رابطة زوجية بين ذرات الكربون ٥-٦ كما فى الكوكسترول او ٨-٧ مـن الحلقة (B) وبين الذرات الكربونية ٢٢- ٢٣ فى السلسلة الجانبية كما فى الارجوسترول .

HO

شكل (٢٩)

كولستانول

وتتاكسد السترولات فى جسم الحيـوان معطيـة النـواة لعـدد مـن الافـراد البـارزة للمشتقات المسماة السترويدات Steroids ويتبعــها عـدد كبـير مـن المركبـات نكتفـى بذكـر بعضها شكل (٣٠) .

ارجوستيرول كولستيرول

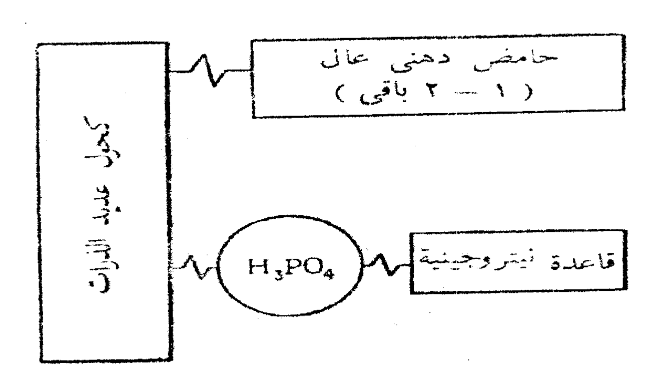
سيتوستيرول ستيجماستيرول

فوكوستيرول

شكل (٣٠) بعض الستروبدات

الفوسفوليبيدات Phodpholipids

وهى عبارة عن استرات للكحولات العديدة الهيدروكسيل مع الاحماض الدهنية وتحتوى بالاضافة الى ذلك على مجاميع اضافية من بواقى حامض الفوسفوريك والقواعد النيتروجينية شكل (٣١).



شكل (٣١) رسم تخطيطى لبناء الفوسفوليبيدات

ويدخل فى التركيب الفوسفوليبيدات المختلفة ثلاثة انواع من الكحولات العديدة الهيدروكسيل وهى : الجلسرين ، السفنوزين ، والاينوزول (شكل ٣٢) وتنقسم الفوسفوليبيدات تباعا لذلك الى ثلاث اقسام هى :

١-**الجلسروفوسفوليبيدات** : وعادة تسمى الفوسفاتيدات ، وهى التى يكون الكحول المرتبط معها هو الجلسرين .

٢- **السفنجوفوسفوليبيدات** : وهى التى يكون الكحول المرتبط معها هو السفنجوزين

٣-**الاينوزيتول فوسفوليبيدات** : وهى التى يكون الكحول المرتبط معها هو الاينوزول

واما القواعد الازوتية التـى يمكـن ارتباطـها بالفوسـفوليبيدات والاكـثر انتشـارا فـهى الكولين Choline والسيرين Serine والكولامين Cholamine والثريونين Threonine شكل ٣٣ .

CH2-OH
CH-OH
CH2-OH

الجلسرول

الأنستول

السفينوزين

$$H_3C-(CH_2)_{12}-CH=CH-\underset{OH}{CH}-\underset{NH_2}{CH}-\underset{OH}{CH_2}$$

sphingosine

شكل (٣٢) انواع الكحولات التى تدخل فى بناء الفوسفوليبيدات

CH3-CH-CH-COOH
OH NH2

السريونين

CH-CH-COOH
OH NH2

السيرين

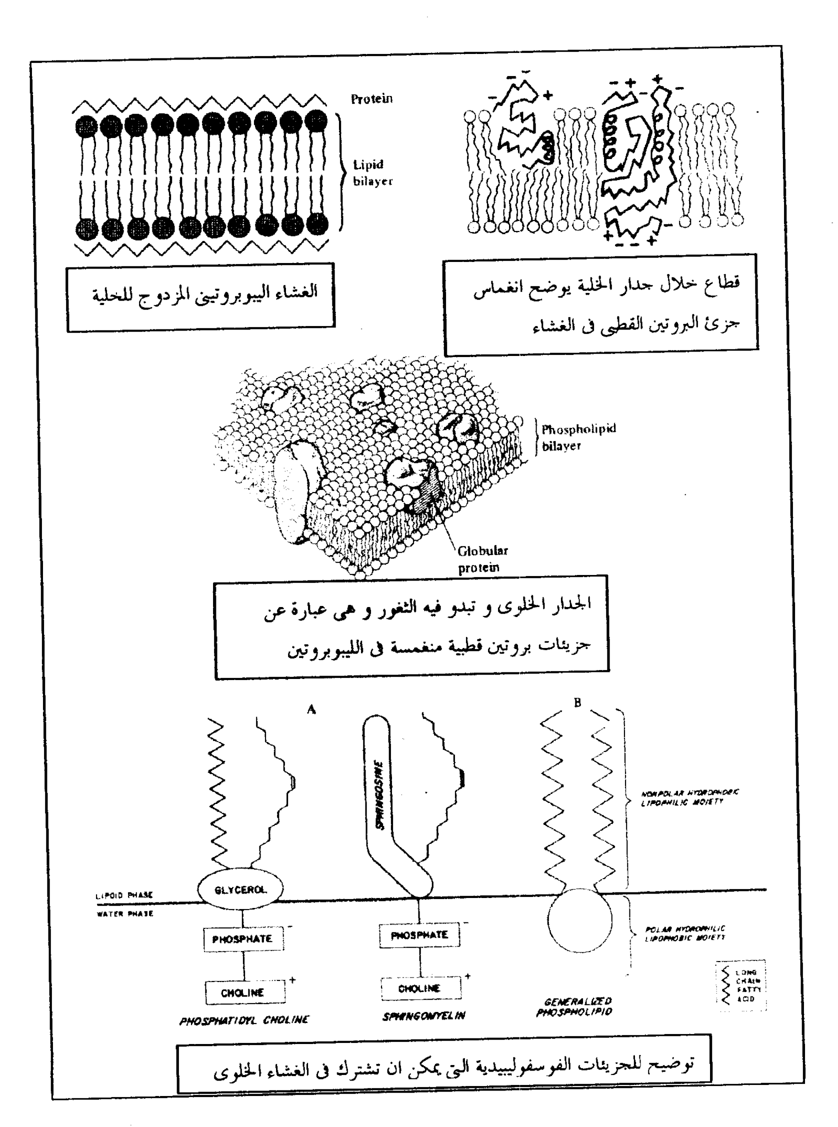
CH2-CH2-NH2
OH

الكولامين

CH2-CH2-N-(CH3)3
OH

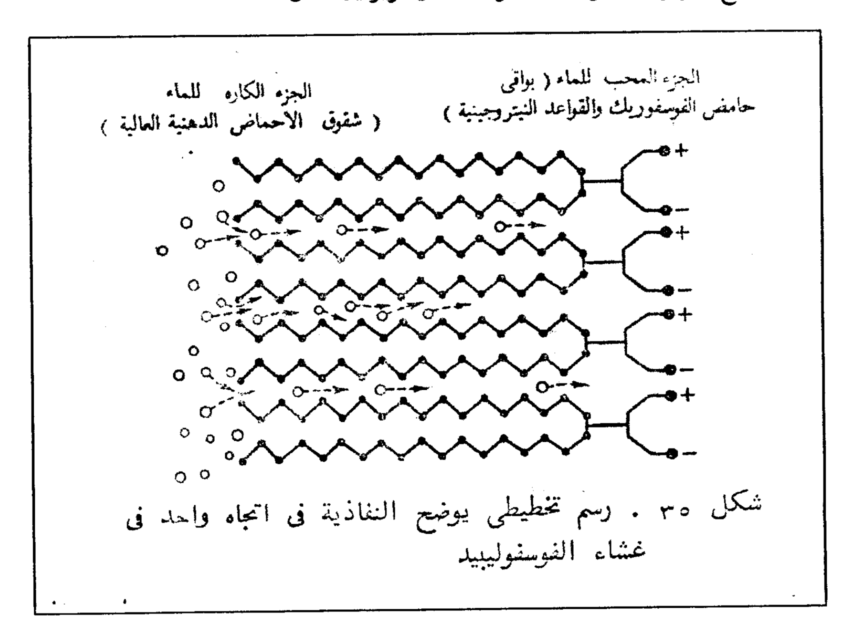
الكولين

شكل (٣٣) انواع القواعد الأزوتية التى تدخل فى بناء الفوسفوليبيدات



شكل (٣٤) : بعض وظائف الفوسفوليبيدات

وتمثـل مجموعـة الفوسـفوليبيدات اهميـة كبـيرة فـى الجسـم اذا يتبـع هـــذه المجموعةالمركبات التى تساعد على تنظيم النفاذية فى جدار الخلايا الحيوانية شكل (٣٤ ، ٣٥) كما تساعد ايضا على اتمام عملية الميثلة Methyation ويتبـع هـذه المجموعـة ثلاثـة مركبات تختلف بإختلاف القاعدة الازوتية المرتبطة مع الجلسروفوسفوليبيدات فـإذا كـانت القـاعدة هـى الكولـين كـان الفوسـفوتيد المتكـون هـو فوسـفاتيديل كولـين Phosphatidyl Choline وهو المعـروف بالليسـيثين Lecithin واذا كـانت القـاعدة هـى الكولامـين كـان الفوسفوتيد المتكون هو فوسفاتيديل كولامين Phosphatidyl Choline، وهو المعروف باسم السيفالين Cephalin واذا كان السيرين هو القاعدة سمى الفوسفوتيد ، فوسفاتيديل سـيرين ، وهكذا مع الثريونين يكون اسمه فوسفاتيديل ثريونين شكل ٣٦ .



شكل ٣٥ . رسم تخطيطى يوضح النفاذية فى اتجاه واحد فى غشاء الفوسفوليبيد

$CH_2-O-CO-(CH_2)_{16}-CH_3$
$CH-O-CO-(CH_2)_{16}-CH_3$
$CH_2-O-P(=O)(O^-)-O-CH_2-CH_2-\overset{+}{N}(CH_3)_3$

ليسيثين (فوسفاتيديل كولين)

$CH_2-O-CO-(CH_2)_{16}-CH_3$
$CH-O-CO-(CH_2)_{14}-CH_3$
$CH_2-O-P(=O)(O^-)-O-CH_2-CH_2-\overset{+}{N}H_3$

كيفالين (فوسفاتيديل كولامين)

$CH_2-O-CO-(CH_2)_{16}-CH_3$
$CH-O-CO-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-CH_3$
$CH_2-O-P(=O)(O^-)-O-CH_2-CH(^+NH_3)-COOH$

فوسفاتيديل سرين

$CH_2-O-CO-(CH_2)_{22}-CH_3$
$CH-O-CO-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-CH_3$
$CH_2-O-P(=O)(O^-)-O-CH(CH_3)-CH(^+NH_3)-COOH$

فوسفاتيديل تريونين

شكل (٣٦) بعض الفوسفوليبدات الشائعة

هضم الدهــــون

DIGESTION OF LIPIDS

تنحصر اولى مراحل التمثيل الغذائى للدهون فى تحلله مائيا بواسطة انزيم الهيدروليز الخاص بتحلل الجلسريدات الثلاثية مائيا والذى يطلق عليه اسم الليبيز Lipase ويسـرى التحليل المائى للدهون تدريجيا ، حيث تفكك فى البداية روابط الاستر الخارجيـة (روابـط الالفا) و يتم ذلك على خطوتين ، خطوة لكل رابطة الفا فـى الجلسـريد الثلاثـى كمـا فـى شكل (٣٧).

$$\begin{array}{l} \alpha CH_2-O-CO-C_{17}H_{35} \\ | \\ \beta CH-O-CO-C_{17}H_{35} + H_2O \\ | \\ \alpha CH_2-O-CO-C_{15}H_{31} \end{array} \xrightarrow{\text{الليبيز}} \begin{array}{l} CH_2-O-CO-C_{17}H_{35} \\ | \\ CH-O-CO-C_{17}H_{35} + C_{15}H_{31}-COOH \\ | \\ CH_2-OH \end{array}$$

الجليسريد الثلاثى
(بالمتو – ثنائى – الستيارين)

α ، β – ثنائى الجليسريد   حامض البالميتيك

$$\begin{array}{l} CH_2-O-CO-C_{17}H_{35} \\ | \\ CH-O-CO-C_{17}H_{35} + H_2O \\ | \\ CH_2-OH \end{array} \xrightarrow{\text{الليبيز}} \begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH-O-CO-C_{17}H_{35} + C_{17}H_{35}-COOH \\ | \\ CH_2-OH \end{array}$$

α ، β – ثنائى الجليسريد   β – مونوجليسريد   حامض الستياريك

شكل (٣٧) هضم الجلسريدات الثلاثية بواسطة الليبيز على خطوتين

ثم يتم تحليل الجلسريدات الأحادية (الرابطة بيتا) بواسطة انزيم اخر يوجد عند الجدر المهدبة للخلايا الطلائية فى ميكوزا الأمعاء و يتم التفاعل بتحرير الحمض الدهنى من الجلسرول شكل (٣٨).

$$\begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH-O-CO-C_{17}H_{35} + H_2O \\ | \\ CH_2-OH \end{array} \xrightarrow{\text{اللى استيريز}} \begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH-OH + C_{17}H_{35}-COOH \\ | \\ CH_2-OH \end{array}$$

β – مونوجليسريد   جليسرين   حامض الستياريك

شكل (٣٨) هضم الجلسريدات الأحادية بواسطة الأستريز

امتصاص الدهون Lipid Absorption

معظم الناتج النهائى المهضوم للدهون بعد هضمها والذى يمكن ان يكون موجودا فــى مخاطية الامعاء للامتصاص هو : جلسريدات احادية واحماض دهنية وجلسرين ويكون ذلك فى شكل اختلاط مستحلبى للاحماض الدهنية والجلسرين والجلسريدات الاحادية مع املاح الصفراء لتكون مستحلبا جديدا ، ولكن لم يعرف بعد هل الاتصال بين املاح الصفراء وهـذه المهضومات الدهنية يحدث فى التجويف المعوى ام داخل الخلية .

والجزء الاكبر من الفوسفوليبيدات المأكولة يحدث لها تحلل تام فى التجويف المعوى الى احماض دهنية وجلسرول وفوسفات ومركبات اخرى ، ويكون امتصاصها باسلوب مشابه لما يحدث للنواتج الهضمية للجلسريدات الثلاثية المهضومة .

وهناك طريقان لامتصاص الدهون من الأمعاء الدقيقة :

الطريق الدموى

عن طريق الوريد البابى حيث تتجمع الشعيرات الدموية المحيطة بالخلية الطلائيــة ، و يتم انتقال المهضوم من الدهون الى هذا الطريق و هو امــا الأحمـاض الدهنيـة الحـرة او الجلسـرول او الجلسـريدات الأحاديـة ذات الأحمـاض الدهنيــة القصــيرة او المتوســطة او الجلسريدات الثائية ذات الأحماض الدهنية القصيرة.

عن طريق الوعاء اللبنى الذى يصل ايضا الى الكبد و الذى تتجمع فيه الشعيرات اللبنية المنتشرة حول الخلايا الطلائية و يعتقد انه يدخل من هذا الطرق جميع الصور التى يحتمل ان يكون عليها الدهن بما فى ذلك الجلسريدات الثلاثية ، الا انه من المرجح ان الجلسريدات الثلاثية التى تحتوى على الأحماض الدهنية العالية تحتاج اولا الى هضم مبدئى قبل الأمتصاص و ان الامتصاص للجلسريدات الثلاثية يقتصر على تلك المحتوية على احماض دهنية قصيرة او متوسطة.

ايض الاحماض الدهنية
FATTY ACID METABOLISM

احد عمليات الايض للاحماض الدهنية هى عملية تقصير سلسلة الحمض الدهنى كطريقة الانطلاق الطاقة فى العملية المعروفة بالاكسدة فى الوضع بيتا β-Oxidation

اكسدة الأحماض الدهنية فى الوضع بيتا

(١) ينشط الحمض الدهنى عن طريق تكوين مركب مع مرافق الانزيم أ المحتوى على رابطة عالية الطاقة من جزئ حمض الفوسفوريك ، ويتم بعد ذلك بثلاثة انواع متخصصة من انزيمات ACYL Co-A SYNTHASE احدهما للاحماض ذات السلسلة القصيرة والاخرين للسلاسل المتوسطة والطويلة .

(٢) يؤكسد الاكيل مرافق الانزيم بمساعدة انزيم Acyl Coa الذى يحتوى على الفلافين ادينين ثنائى النيوكليوتيد (FAD) كمرافق انزيمى وهو من نواتج تمثيل فيتامين (ب٢) .

(٣) يضاف جزئ الماء فى موضع الرابطة الزوجية التى توجد فى الديهيدرواكيل مرافق الانزيم أ

(٤) تؤكسد مجموعة الهيدروكسيل فى الوضع بيتا الى مجموعة كيتون

(٥) يتحد الجزئ الاخير مع مرافق الانزيم النشط وينفصل جزئ استيل مرافق انزيم (أ).

وهكذا تكرر هذه العمليات باستمرار كما يوضح شكل (٣٩) و (٤٠).

الاحماض الدهنية الضرورية Essentail fatty acids

يطلق على ثلاثة احماض دهنية غير مشبعة اسم الاحماض الدهنية الضرورية وهى لازمة للكثير من وظائف الدهون بالجسم كما انها تهيمن على ايضها و هى ضرورية لعملية بناء و تخليق و تطويل سلاسل الأحماض الدهنية الأخرى ، و هذه الأحماض هى:

(١) اللينوليك C18:3

CH3-(CH2)3 (CH2-CH=CH)2-(CH2)7-COOH

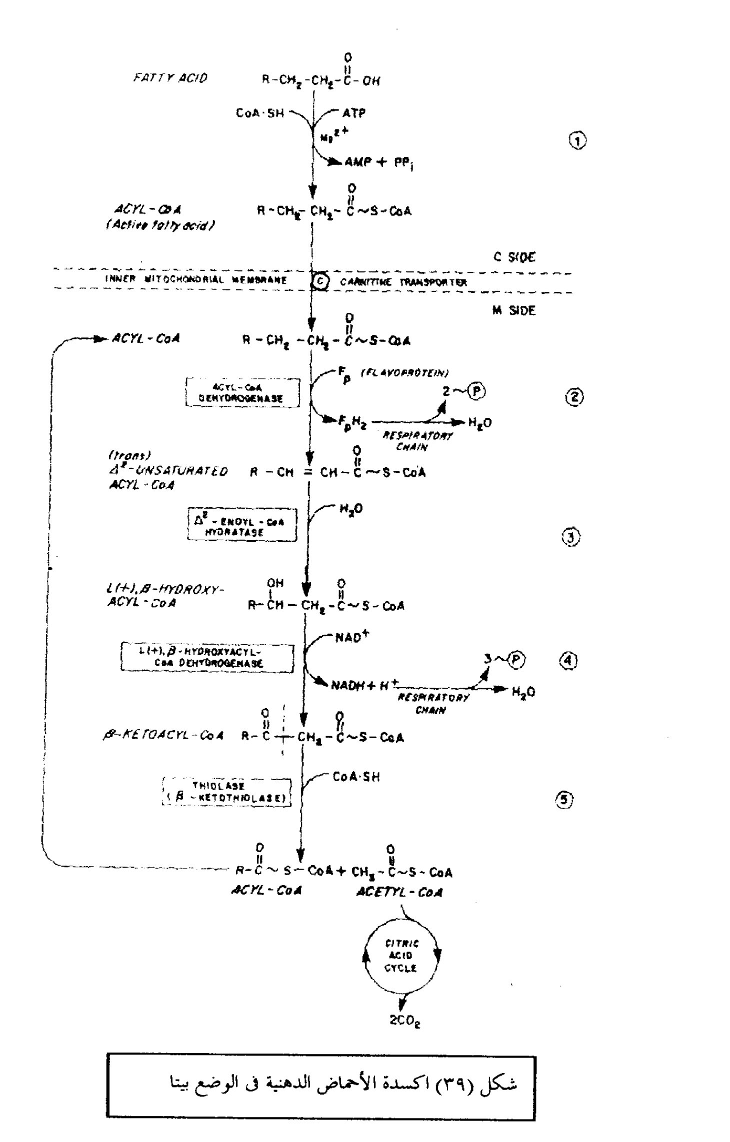
(٢) الينولينيك C18:3

CH3-(CH2-CH=CH) 3-(CH2)7-COOH

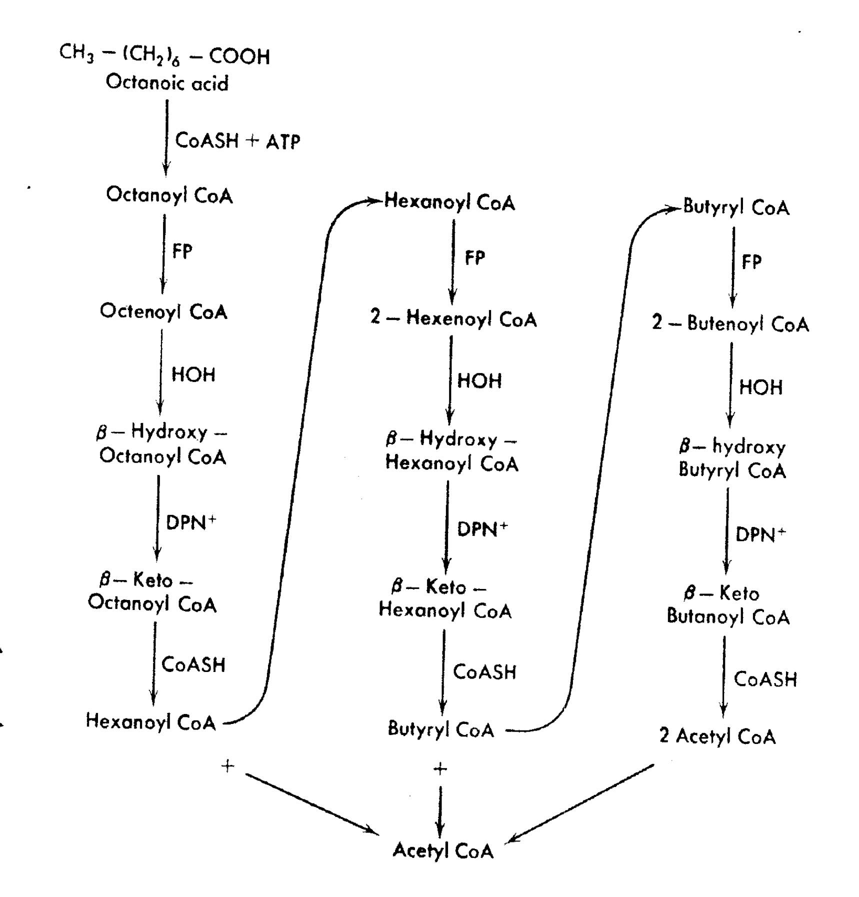
(٣) الاراكيدونيك

CH3-(CH2) 4-(CH=CH-CH)4- (CH2) 2-COOH

ويعتبر البعض ان هذه الاحماض الدهنية الثلاثة غير المشبعة تكون معقدا واحدا ينتمى الى الفيتامينات تحت اسم فيتامين (ف).



شكل (٣٩) اكسدة الأحماض الدهنية فى الوضع بيتا



شكل (٤٠) تتابع عمليات الأكسدة لحمض دهني طوله ٨ ذرات كربون

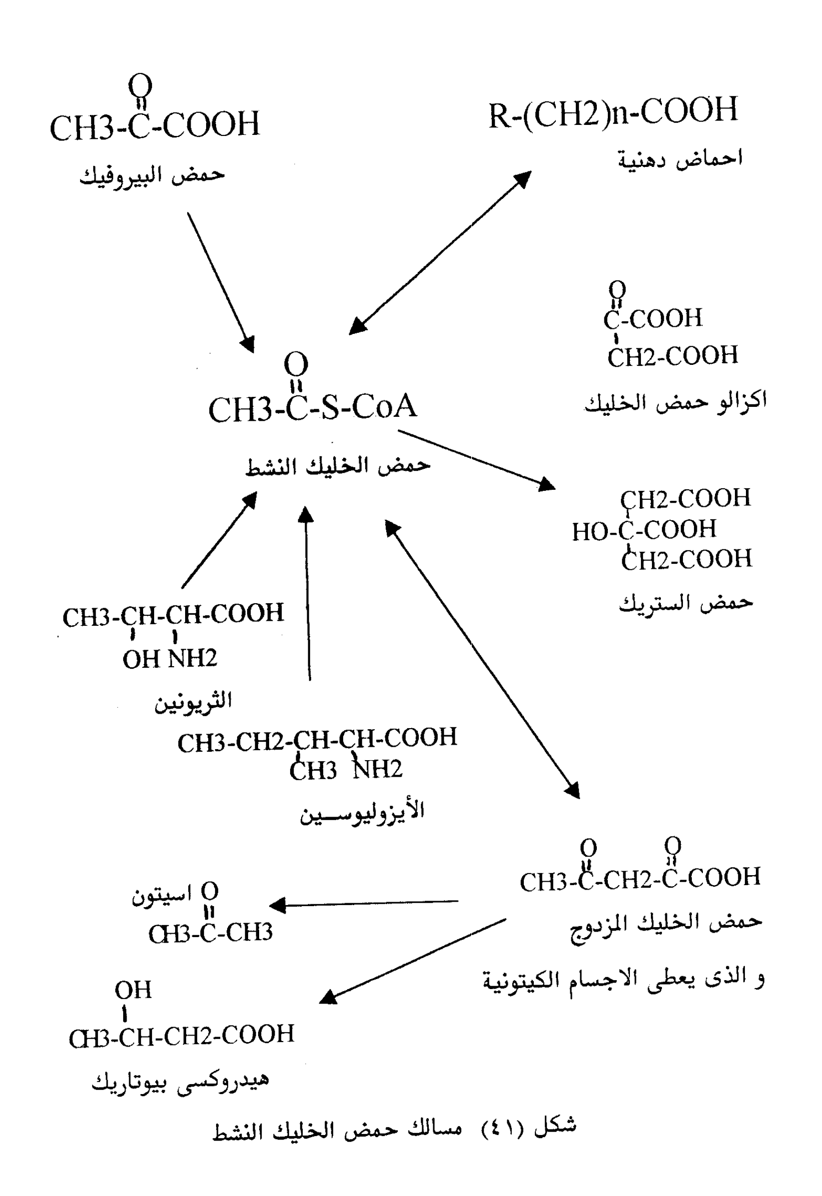
و نلاحظ ان الناتج النهائى لعملية اكسدة الدهون ينتهى الى حمض الخليك النشط (acetyl Co A) وعنده تلتقى نواتج اكسدة الدهون و نواتج اكسدة الكربوهيدرات وايض البروتينات.

ايض حمض الخليك النشط
Acetyl Co A

حمض الخليك النشط نقطة **التقاء** اخرى هامة فى التمثيل الغذائى للمركبات الغذائية ، و **تتمثل نقاط الألتقاء عند هذا المركب** على النحو التالى كما يوضحها شكل (٤١).

(١) **طريق ذو اتجاهين لتخليق الأحماض الدهنية** او كناتج من اكسدتها ، و هو الاتجاه **المتصل بايض الدهون.**

(٢) **طريق ذو اتجاه واحد لتحول حمض البيروفيك** الى حمض الخليك النشط ، وهو الاتجاه **المتصل بأيض الكربوهيدرات** ، **ومع ان هذا الطريق ذو اتجاه واحد** بمعنى ان حمض **البيروفيك يتحول الى الخليك النشط و ليس العكس** مما قد يدعو الى التساؤل عما اذا كانت **الدهون لا تتحول الى كربوهيدرات** ، فنجد ان حمض الخليك النشط يدخل دورة حمض الستريك و يصل الى اكزالو الخليك الذى يتحول الى p-enolpyruvic وهذا بدوره يتحول اما الى حمض البيروفيك او الى الترايوزات و منها يبنى الجلوكوز او الفركتوز او الجليكوجين.



شكل (٤١) مسالك حمض الخليك النشط

(٣) طريق ذو اتجاهين للدخول او الخروج من دورة حمض الستريك نتجة اتحاده او انفكاكه من حمض اكزالو الخليك.

(٤) طريق ذو اتجاه واحد مع كل من الحمضين الثريونين و الأيزوليوسين حيث يتحول هذان الحمضان اليه و لا يتحول هو اليهما فى الكائنات الراقية.

(٥) طريق ذو اتجاهين لتكوين حمض الخليك المزدوج (Acetoacetic acid) وهذا الحمض اذا زادت نسبته فى الدم و لم يتمكن من التحول الى حمض الخليك النشط بسبب او بآخر تحول الى مركبين احدهما الأسيتون بعد خروج ثانى اكسيد الكربون والثانى -D-β-Hydroxybutyric acid و يتسبب عن هذين المركبين الاخيرين فقد الرصيد القلوى للدم و بالتالى حدوث حالة الاغماء و تسمى هذه المركبات الثلاثة (حمض الخليك المزدوج و ما ينتج عنه) الأجسام الكيتونية ketone bodies .

و تنتج هذه الحالة من عدة اسباب منها:

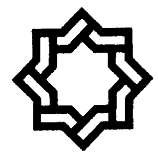
أ – الجوع الشديد حيث يتم حرق السكر من الدم و ينفذ الجليكوجين من الكبد فيضطر الجسم لهدم الدهون للحصول على الطاقة فيتوفر فائض من حمض الخليك النشط الناتج عن اكسدة الدهون لا يصاحبها قدر كافى من مركبات دورة حمض الستريك ومصدرها كربوهيدرات فيتحول الفائض الى الجسام الكيتونية.

ب – مرضى السكر بسبب عدم القدرة على حرق السكر و تحويله الى حمض البيروفيك فيتصرف الجسم كما لو لم يجد كربوهيدرات و يتخذ وجود الأسيتون فى البول برائحته المميزة علامة واضحة على تدهور حالة المريض بالسكر.

جـ –عند تعاطى جرعة زائدة من الانسيولين لمرضى السكر ، حيث يتم حرق جميع السكر من الدم و يتصرف الجسم كما لو كان فى حالة الجوع الشديد.

د – تعاطى كمية كبيرة من الدهون او القيام بمجهود كبير مفاجئ.

هـ – تصاحب هذه الحالة تسمم الحمل فى الاغنام و زيادة الدرار فى البقار.



الفصل الثالث

كيمياء البروتينات

CHEMISTRY OF PROTEINS

اقسام البروتينات

يمكن تقسيم البروتينات الى ثلاثة اقسام رئيسية بالنسبة لخواصها الفيزوكيميائية ، وكذا بالنسبة لمكونات الجزء البروتينى المعقد التركيب

البروتينات البسيطة Simple proteins

وهى بروتينات توجد فى الطبيعة وتنتج بالتحليل المائى احماض امينية من النوع (الفا) او مشتقاتها ، وتتبع هذه المجموعة بروتينات منها .

الالبيومينات Albumins

ويعرف هذا النوع من البروتينات بالزلال ويذوب فى الماء ، وفى محاليل الاملاح المتعادلة وينتخثر بالحرارة ومن امثلته البيومين السيرم Serum Albumin فى الدم والبيومين البيض Egg Albumin فى زلال البيض والبيومين العضلات Myogen والبيومين اللبن Lactabumin والبيومين البسلة Kgumelin والبيومين يوجد فى القمح Leucosin

الجلوبيولينات **Globulins**

لا يذوب هذا النوع من البروتينات فى الماء ولكنه يذوب فى محاليل الاملاح المتعادلة ولا يذوب فى المحاليل المشبعة او نصف المشبعة من كبريتات الامونيوم يتخثر بالحرارة ، ومن امثلة هذه المجموعة : جلوبيولين مصل الدم **Serum Globulin** ويرسب هذا البروتين بالمحاليل نصف المشبعة من كبريتات الامونيوم ويحتوى على ثلاثة انواع من الجلوبيولين هى أ، ب، ج والاخير يحتوى على مضادات الاجسام **Anti – bodies** التى تحمى الجسم من الميكروبات المرضية .

ومن امثلتها ايضا ما يوجد فى مح البيض ويسمى Ovaglobulin وما يوجد فى العضلات ويسمى **Myosin** وما يوجد فى بذور العنب ويسمى Edestin وما يوجد فى الفول ويسمى Phascolin وفى البسلة ويسمى Legumin وفى الجوز البرازيلى ويسمى Excelsinوفى الفول السودانى ويسمى Arachin وفى اللوز ويسمى Amandin

الجلوتيلينات **Glutelins**

وهو عديم الذوبان فى الماء او المحاليل الملحية المتعادلة ولكنه يذوب فى الاحماض او القلويات المخففة ويوجد هذا النوع من البروتينات فى النباتات فقط ، مثل :جلوتين القمح ويسمى Glutenin والارز ويسمى Oryzenin .

البرولامينات Prolamins

وهو بروتين نباتى ويتبع مجموعة الجلوبيولينات الا انه يختلف فى قابليتـة للذوبـان فى الكحول ٨٥٪ ومن امثلته الجليادين Gliadin فـى القمـح والهوردئـين Hordeinفـى الشعير والذايين Zein فى الذرة .

السكليربروتين Secleroprotein

ويسمى ايضا الالبومينويدات ، وهو بروتين عديم الذوبان فى المذيبات المختلفة ويكون معظم الهيكل البنائى لانسجة الحيوان ، وعادة يقسم الى ثلاث مجاميع هى:

أ-**الكيراتين Keratin** ويكون الجزء الصلب من الشعر والريش والاظافر والقرون.

ب- **الايلاستين Elastin** ويكون النسيج المطاط فى الحيوان

جـ **الكولاجين Collagen** ويسمى ايضا الجيلاتين Gelatinويكون المادة الناعمة المحيطة بالنسيج المتصل بالعظام وكذا يوجد فى قشور الاسماك.

الهستونات Histons

ويذوب هذا النوع فى الماء وفى الاحمـاض المخففـة او القواعـد وهـو ذو تأثـير قلـوى ضعيف بسبب احتوائـه علـى الاحمـاض ثنائيـة الامـين ومـن امثلتـها : جلوبـين Globin الهيموجلبين ، وتحتـوى الهسـتونات علـى ١٨-١٩٪ ازوت والبعـض منـها يحتـوى علـى الكبريت وعند تحليلها ينتج عدد كبيرا من الاحماض الامينية القاعدية .

البروتامينات Protamins

هى بروتينات تذوب فى الماء وفى الاحماض المخففة ولاتتخثر بالحرارة وتحتوى على نسبة كبيرة من الاحماض الامينية القاعدية وتوجد عادة متحدة مع الاحماض النووية وجزئ البروتامين اصغر من جزئ معظم البروتينات لذا يمتاز بخاصية الانتشار.

ويمكن تقسيم البروتينات البسيطة بطريقة سهلة كالاتى :

* **بروتينات تذوب فى الماء**

(١) يتخثر بالحرارة : الالبيومين

(٢) لا يتخثر بالحرارة

أ- لايذوب فى الامونيا (الهستون)

ب- يذوب فى الامونيا (بروتامين)

* **بروتينات لاتذوب فى الماء :**

(١) يذوب فى ملح الطعام (جلوبيولين) ويتخثر بالحرارة

(٢) يذوب فى الكحول (برولامين)

(٣) يذوب فى الاحماض والقلويات (جلوتلين)

(٤) لا يذوب فى شئ (سكليروبروتين)

البروتينات المركبة (المرتبطة)
Compound protein

وتوجد هذه البروتينات فى الطبيعية ايضـا وعند تحليلـها مائيـا تنتج بالاضافة الى الاحماض الامينية من نوع (الفا) جزيئات اخرى غير بروتينية تكون مرتبطة اصلا بـالجزء

البروتينى وتعرف بالمجموعة التعويضية **Prosthetic Group** **ومن هذه** المواد غير البروتينية : الكربوهيدرات او الهيم او الاحماض النووية او الليبيدات او الفلزات ، ولذا تقسم البروتينات المركبة الى عدة اقسام تسمى حسب المجموعة التعويضية التى تدخل فى تركيب الجزئ وهى .

البروتينات النووية **Nucleoproteins**

وهى من اهم مركبات نواة الخلية وتتكون من جزئ بروتين متحدا مع الاحماض النووية وهذه البروتينات معقدة التركيب ذات وزن جزيئى مرتفع تحتوى على الفوسفور علاوة على الازوت .

الكروموبرتينات **Chromoprotein**

وتسمى ايضا البروتينات المعدنية **Metallo – proteins** وهى بروتينات مركبة مع جزئ ملون يحتوى على فلز مثل الهيموجلبين الذى يحتوى على الحديد وتشتمل ايضا كثيرا من الانزيمات التى تحتوى على فلزات مثل المنجنيز والحديد او الكوبلت او النحاس وغيرها.

الفوسفوبروتينات **Phosphoprotein**

وهى بروتينات تحتوى على فوسفور ، وبالتحليل المائى لها ينفرد الفوسفور ، ومن امثلتها كازين اللبن Casein والكازينوجين Caseinigen وفيتالين البيض Vetellin

الجلوكوبروتينات Glucoproteins

وهى البروتينات المرتبطة مع مجموعة كربوهيدرات وتعرف ايضا باسم ميوكوبروتين Mucoproteinومن امثلتها الميوسين Mucinفى اللعاب والجزء الكربوهيدراتى فيها اما ان يكون سكر عديد او سكر بسيط او احد مشتقاته فمثلا يتحلل الميوسين مائيا وينتج عن ذلك مخلوط من الاحماض الامينية وهكسوزات وامينات واحماض يوررونية .

الليبوبروتينات lipoprteins

وهى بروتينات مرتبطة مع مواد دهنية وقد سبق الاشارة اليها فى اقسام الليبيدات .

البروتينات المشتقة
Derivative proteins

ومعناها مشتقات البروتينات التى تنتج اثناء عملية التحليل المائى للبروتينات قبل الوصول الى الناتجات النهائية التى هى الاحماض الامينية ، وهى يترتب تعقيدها الى الابسط كما يلى :

١- ميتابروتين **Metaprotein** : وهى من انواع تحلل او هضم الالبيومين والجلوبيولين ، وهى عديمة الذوبان فى الماء او الاحماض المعدنية المركزة وتذوب فى المخففة.

٢- البروتوزات **Proteoses** : وتذوب فى الماء وتتخثر بالحرارة وترسب بكبريتات الامونيوم المشبعة .

٣- الببتونات **Peptones** : تذوب فى الماء ولا تتخثر بالحرارة ولا ترسب بكبريتات الامونيوم المشبعة ، وهى الناتج النهائى لعملية هضم البروتينات فى المعدة

٤- عديدات الببتيد **Polypeptides** وهى سلسلة من الاحماض الامينية .

٥- الببتيدات الثنائية **Dipeptides** مركب من حمضين امينين فقط .

٦- الاحماض الامينية **Amino acids** وسوف نذكرها تفصيلا فيما يلى

الاحماض الامينية
Amino Acid

الاحماض الامينية هى الوحدات البنائية للبروتين ، وهى مركبات عضوية تحتوى على مجموعة كربوكسيل على الاقل وعلى مجموعة امين على الاقل ، ومن هنا جاء اسمها " احماضا امينية " ويمكن اعتبار الاحماض الامينية مشتقة من الاحماض الدهنية باستبدال ذرة الهيدروجين من مجاميع الاكيل بمجموعة امينو **(-NH2)**.

فإذا استبدلت ذرة الهيدروجين من مجموعة الاكيل لحمض الخليك بمجموعة امين تنتج حمض " امينو الخليك Amino Acetic Acid والذى يعرف بالجلايسين Clycine شكل(٤٢).

$$H-\overset{\displaystyle H}{\underset{\displaystyle H}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}-COOH \longrightarrow H-\overset{\displaystyle H}{\underset{\displaystyle NH2}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}-COOH$$

حمض دهنى | حمض امينى
الخليك | الجلايسين

شكل (٤٢) الأحماض الأمينية مشتقة من الأحماض الدهنية

اما فى الاحماض الدهنية التى تحتوى على اكثر من ذرتى كربون فإنه ينتج عنهما احماض متشابهة تشابها وضعيا لوضع مجموعة الامين فى الجزئ او بمعنى اصح حسب موضع مجموعة الامين بالنسبة لمجموعة الكربوكسيل فى الحمض الامينى وتنتج احماضا امينية (الفا - بيتا - جاما ... الخ)

$$\begin{array}{c} \gamma \quad \beta \quad \alpha \\ R-C-C-C-C-COOH \\ \ldots.5 \quad 4 \quad 3 \quad 2 \quad 1 \end{array}$$

وقد يسمى الحمض الامينى تبعا لترقيم ذرات الكربون فى الجزئ ابتداء من ذرة الكربون فى مجموعة الكربوكسيل كما فى الشكل السابق .

وقد تم الان فصل اكثر من ٢٠٠ حمضا امينيا مختلفا من النباتات والحيوانات والكائنات الدقيقة ، ولكن لم يعثر الا على اقل من ثلاثين حمضا منها فى تركيب

البروتينات ، اما الباقى فيوجد فى حالة حرة ، واتفق على تقسيم الاحماض الامينية التـى فى البروتينات ، الى نوعين :

(١) تلك التـى توجـد بصفـة مستديمة فـى معظـم البروتينـات ، وعددهـا ٢١ حمضـا

(٢) التى توجد احيانا فى نوع واحد من البروتينات ، وهى غـير منتشـرة انتشـارا واسـعا وهى ايضا على نوعين :

(أ) ماوجد منها فى بروتين واحد فىالحيوانات او النباتات الراقية .

(ب) وما وجد منها فى بناء بروتين الاحياء الدقيقة ، ولم يوجد فى بروتينات الحيوانات الراقية .

وعدد ما ينتمى الى هذين النوعين الاخريين لا يتعدى تسعة احماض .

وجميـع الاحمـاض الامينيـة الفسـيولوجية بإسـتثناء البعـض منـها (مثـل الــبرولين والهيدروكسى برولين) عبارة عن احماض الفا امينية ، وعلى ذلك يكون الزمز العام لها .

$$R - \underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}} - COOH$$

شكل (٤٣) البناء العام للحمض الأمينى

نقطة التعادل الكهربى Isoelectric point

ويحسن التعبير عن الاحماض الامينية المتعادلة كهربيا بانها امـلاح التـاين ومتعادلـة داخليا عن طريق مجاميع الامين والكربوكسيل الداخلية فى تركيب الجزئ ، ولكن يجـب ملاحظة انه تحت ظروف التعادل الكـهربى تكـون الاحمـاض الامينيـة المتأنيـة فـى حالـة تتساوى فيها الشحنات الموجبة والشحنات السالبة تظـل الايونـات ثابتـة لا تتحـرك فـى المجال الكهربى ، وبذا لا يكون لها شحنة ظـاهرة فيكـون الجـزئ متعـادلا كـهربيا حـين تتساوى الشحنات الموجبة و الشحنات السالبة وتعرف هذه الحالة بنقطة التعادل الكـهربى **Isoelectric (Point)**

القطبية

نظرا لان الاحماض الامينية تحتوى على سلسلة جانبيـة بخـلاف مجموعتـى الامـين والكربوكسيل الرئيسيتين فى الحمض فان هذه السلسلة قد تكون محتويـة علـى مجموعـات تحـوى شـحنات كهربيـة ، وتسـمى السلسـلة فـى هـذه الحالـة " قطبيـة **(Polar or Hydrophilic)** ويسمى الحمض الذى يحتويها حمضا قطبيـا وقـد لاتحتـوى على مجموعات وتسمى سلسلة " غير قطبية " **(Non polar or Lipophilic)** ويسـمى الحمض الذى يحتويها حمضا غير قطبى ، كما ان الاحمـاض القطبيـة السلسـلة تنقسـم الى ثلاثة اقسام تبعا لنوع الشحنات السائدة فى ايونات السلسلة الجانبية هى :

السلسلة المتعادلة :اى التى تحتوى على ايونات سالبة واخرى موجبة متساوية فتعادل بعضها بعضا ، وبعض الاراء ترى انها حمضا غير قطبى والبعض الاخر يرى انها قطبية متعادلة.

السلسلة الكاتيونية : وهى التى تحتوى على ايونات موجبة سائدة

السلسلة الانيونية : وهى التى تحتوى على ايونات سالبة سائدة .

تقسيم الاحماض الامينية تبعا لعدد مجموعات الامين والكربوكسيل

تنقسم الاحماض الامينية الى ثلاثة اقسام :

الاول : ويشمل الاحماض الامينية المحتوية **على** عدد متساوى من مجموعات الامين والكربوكسيل وتسمى الاحماض الطبيعية او المتعادلة ، وهى قسمان ايضا :

(١) الاحماض احادية الامين احادية الكربوكسيل : ويتبعها معظم الاحماض الشائعة .

(٢) الاحماض ثنائية الامين ثنائية الكربوكسيل : ويتبعها حمضين هما الاسبارجين والجلوتامين

الثانى : ويشمل الاحماض المحتوية على عدد من مجموعات الامين اكثر من مجموعات الكربوكسيل وتسمى ايضا احماضا قاعدية وتشمل ثلاثة احماض هما اللايسين والارجنين والهستدين .

الثالث : ويشمل الاحماض المحتوية على عدد من مجموعات الكربوكسيل اكثر من مجموعات الامين ، وتسمى احماضا حامضية وتشمل حامضان هما : الاسبارتيك والجلوتاميك

التقسيم الوظيفى للأحماض الأمينية

اولا : الاحماض الامينية ذات السلسلة الاليفاتية

وتشمل ١٦ حمضا من الاحماض ال(٢١) وتشمل خمسة مجموعات:

(١) الاحماض الهيدروكربونية : وهى : الجلايسين – الالانين – الفالين–الليوسين – الايزوليسين .

(٢) الاحماض الكبريتية (المحتوية على الكبريت) : وهى الميثايونين – السستائين – السستين

(٣) الاحماض الهيدروكسيلية : وهى السيرين – الثريونين

(٤) الاحماض الحامضية : وهى حمض الجلوتاميك واميده الجلوتامين وحمض الاسبارتيك واميده الاسبارجين.

(٥) الاحماض القاعدية : وهى الايسين والارجنين.

ثانيا : الاحماض الامينية العطرية :

وتشتمل على حمضين هما : الفينيل الانين والتيروزين

ثالثا : الاحماض الحلقية :

وتشتمل على حمضين هما الهستدين ، التريتوفان

رابعا : الاحماض الإيمينية :

ويشمل حمضا واحدا هو البرولين

وتقسم الاحماض الامينية تبعا لكونها تخلق داخل اجسام الثدييات والطيور ام لا الى احماض امينية ضرورية وعددها عشرة هى .

الفالين	الليوسين	الايزوليوسين	الثريونين	الميثايونين
اللايسين	الارجينين	الفينيل الانين	الهستدين	التريتوفان

الاحماض الامينية غير الضرورية وهى الاحدى عشر الباقية

الا انه من الناحية العملية فقد جرى العرف على ضرورة تقدير ستة عشر حمضا هى : العشرة سابقة الذكر وهى العشرة الضرورية وستة اخرى هى .

الجلايسين : حيث لا يخلق بالقدر الكافى فى الطيور النامية وعالية الانتاج .

السيرين : حيث انه لا يخلق الا من الجلايسين .

التيروزين : حيث لا يخلق الا من الفينيل الانين .

السستين : حيث لا يخلق الا من الميثايونين .

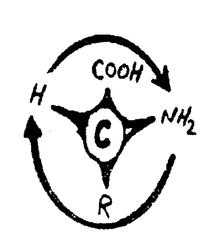
الجلوتاميك : حيث لا يخلق بالقدر الكافى فى الحيونات والطيور المريضة.

البرولين : حيث لا يخلق فى الجسم بالقدر الكافى .

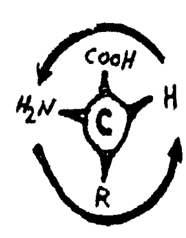
الدوران النوعى Specific Rotation

وتعتبر الصفة الهامة للاحماض الامينية البروتينية هى فاعليتها الضوئية (Optical Activity) وباستثناء الجلايسين فان كل هذه الاحماض الامينية ال(٢٠) الباقية لها نشاط ضوئى اى لها القدرة على دوران الضوء المستقطب المار بها ويرجع ذلك لوجود ذرة كربون واحدة أو اكثر توجد عليها مجموعات كيميائية فى اوضاع غير متماثلة ، ومن ضمن

الاحماض الامينية البروتينية ذات الفاعلية الضوئية ثمانية عشر حمضا تتميز عشـرة منـها بالدوران اليمينى (+) وثمانية بالدوران اليسـارى (−) الا ان جميعـها تقريبـا تتبـع التمـاثل البنائى (L) ، وهى تلك البنية التى تكون روابط التكافؤ فى النموذج الرباعى السطوح لذرة الكربون المتماثلة فى عكس اتجاه عقارب الساعة.



(أ) النسق البنائى (D)
تتابع الهيدروجين و الكربوكسيل
والامين فى اتجاه عقارب الساعة



(ب) النسق البنائى (L)
تتابع الهيدروجين و الكربوكسيل
و الامين فى عكس اتجاه عقارب الساعة

شكل (٤٤) نسقى بناء الأحماض الأمينية D , L

وعند تحضير الاحماض الامينية كيميائيا فى المعمل نحصل على مركب لايؤثـر علـى الضوء المستقطب وهو عبارة عن مخلوط مـن كـل المتشـابهات الضوئيـة البنائيـة للحمـض الامينى ولذلك توضع امام اسم هذه المركبات علامة (DL ±)وتسمى راسيمات (Rasemat) وتعتبر الصورة (L-) هى الصورة الفعالة غـذائيا نظـرا لان جميـع البروتينـات المختلفـة فـى اجسام الكائنات الراقية تحتوى احماضا الفا امينية على الصورة (L).

الا انه عند اختبار التأثير الغذائى للراسيمات (الصور المختلفة صناعيا) وجد انها تتفاوت فى التأثير الغذائى بالنسبة للصورة الطبيعية .(L-)

ومنها ما كانت قيمته الغذائية ٥٠٪ من الصورة (L-) ومعنى ذلك ان الصورة (D+) تكون غير فعالة غذائيا اى تساوى صفر ، كما فى اللايسين ولذلك يجب ان يضاف اللايسين على الصورة (L) فى العلائق واذا اضيفت على الصورة (DL±) فيجب مضاعفة الكمية المضافة عن الاحتياجات .

ومنها ما كانت قيمة الغذائية ١٠٠٪ من الصورة (L-) ومعنىذلك ان الصورة (D+) فعالة غذائيا مثل الصورة (L-) تماما ، ومثال ذلك ؛ الميثايونين ، وهو يضاف الى العلائق فى اى صورة كانت ، وتعتبر الراسيمات المخلقة صناعيا منه (DL±) ذات فاعلية غذائية كاملة ، ومنها ما كانت قيمتة بين هذا وذاك .

تواجد الاحماض الامينية فى البناء البروتينى

سبق ان ذكرنا ان عدد الاحماض الامينية التى امكن عزلها ودراستها تزيد عن ٢٠٠ حمضا الا ان عدداً قليلا منها هو الذى امكن اثبات انه يدخل فى بناء البروتينات .

وفى هذا الكتاب سوف نصطلح على تسمية الاحماض الامينية التى تدخل فى بناء البروتين او تنتج عن تحليله فى الجسم اثناء التمثيل الغذائى او اثناء ايضه او يكون لها وظيفة فسيولوجية بشكل او باخر **بالاحماض الامينية الفسيولوجية** . **Physiological amino acid** اما الاحماض التى قطع بانها هى التى تدخل فى بناء البروتينات " **الاحماض الامينية البروتينية** **Proteinic amino acid**، وعددها ٢٨ حمضا ، اما

الاحماض الامينية التى تبنى فى بروتينات الكائنات الراقية اى بعد استثناء الاحماض التى تبنى فى الاحياء الدقيقة فقط فنسميها ب" **الاحماض الامينية البروتينية الحقيقية** True proteinic amino acid ويشيع منها ٢١ حمضا امينيا حيث ان الباقين لا يوجدون الا فى بروتينات خاصة قليلة الانتشار ولذلك تسمى هذه الاحماض ال(٢١) بـ" الاحماض الامينيـة الشائعة " وهى التى نركز دراستنا هنا عليها .

تواجدها فى البروتينات المختلفة

فى الوقت الحالى وبعـد ان اصبح مـن المعـروف تفصيـلا الـتركيب الوصفـى والكمـى للاحماض الامينية لعدة عشرات من البروتينات فانـه قـد سمحـت دراسـتها لاقـرار بعـض القواعد عن تواجد تلك الاحماض الامينية فى البروتينات ، فمثلا :

١- الليوسين واللايسين والاسـبارتيك والجلوتـاميك توجـد فـى البروتينـات بكميـات كبيرة (١٠ -١٥٪) لكل منها ، وعلى العكس من ذلك فـان نصيـب التريتوفـان والسـتائين والهستدين قليلا ما يزيد عن(١,٥ - ٢٪) وتتراوح كمية بقية الاحماض الامينيـة عـادة بـين القيم السابقة .

٢- يكون دائما فى البروتينات (باستثناء الببسين) الايزوليوسين اقل من الليوسـين وهما حمضان لهما سلسلة اليفاتية غير قطبية مكونة من ست ذرات كربون ، وايضـا وعلـى نفس النسق يكون الهيستدين اقل من الارجنين وهما حمضان قاعديان والـثريونين اقـل مـن السيرين وهما حمضان هيدروكسيليان ، والاسبارتيك اقل من الجلوتاميك وهما حامضيان .

٣- بعض البروتينات تتميز بوجود احماض امينية متخصصة تماما ، فمثلا : بروتين (السالمين Salmin) وهو بروتامين لقاح ذكور سمك السالمون يتكون من ٨٥,٢٪ ارجنين ٩,١٪ سيرين .

٤- ويحتوى بروتين حرير القز على ٢٩,٧٪ الانين ٤٣,٦٪ جلايسين ، ١٢,٨٪ تيروزين ، ١٦,٢٪ سيرين ، بينما تكون النسبة المئوية لباقى الاحماض الامينية ضئيلة .

٥- بروتين زايين الذرة لا يحتوى على الجلايسين او اللايسين .

٦- الجيلاتين والكولاجين والاليستين لاتحتوى على تربتوفان .

٧- الفوسفوتين لا يحتوى على السستين .

٨- الهيموجلبين لا يحتوى على ايزوليوسين.

٩- الانسولين لا يحتوى على الميثانويين ولا التربتوفان .

١٠ - **هرمون النمو** فى الغدة النخامية لا يحتوى على ميثايونين ولا سستيئين ولا سستين .

و فيما يلى التركيب البنائى للأحماض الأمينية الثلاثة و العشرين التى تدخل فى بناء البروتينات.

الأحماض الأمينية المتعادلة

الجلايسين Glycine (Gly)

$$H-\underset{NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH$$

الألانين Alanine (Ala)

$$CH_3-\underset{NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH$$

الفالين Valine (Val)

$$(H_3C)_2CH-\underset{NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH$$

الليوسين Leucine (Leu)

$$(H_3C)_2CH-CH_2-\underset{NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH$$

شبيه الليوسين (الأيزوليوسين)

iso-Leucine (Ile)

$$CH_3-CH_2-\underset{CH_3}{\underset{|}{CH}}-\underset{NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH$$

الأحماض الأمينيه الهيدروكسيلية

السيرين Serine (Ser)

$$\underset{OH}{\underset{|}{CH_2}}-\underset{NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH$$

الثريونين Threonine (Thr)

$$CH_3-\underset{OH}{\underset{|}{CH}}-\underset{NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH$$

الأحماض الأمينية الكبريتية

السيستيئين Cysteine (Cys)

$$\begin{array}{lll} CH_2 - & CH - & COOH \\ | & | & \\ SH & NH_2 & \end{array}$$

الميثايونين Methionine) (Met)

$$\begin{array}{llll} CH_2 - & CH_2 - & CH - & COOH \\ | & & | & \\ S - CH_3 & & NH_2 & \end{array}$$

السيستين Cystine

$$\begin{array}{ll} CH_2 - & CH-COOH \\ | & \quad | \\ S & NH_2 \\ | & \\ S & NH_2 \\ | & \quad | \\ CH_2 - & CH-COOH \end{array}$$

الأحماض الأمينية الحامضية

حمض الأسبارتيك

Aspartic acid (Asp)

$$\begin{array}{lll} HOOC-CH_2- & CH- & COOH \\ & | & \\ & NH_2 & \end{array}$$

الأسباراجين

Asparagine (Asn)

$$\begin{array}{llll} H_2N- & C & -CH_2- & CH-COOH \\ & \| & & | \\ & O & & NH_2 \end{array}$$

حمض الجلوتاميك

Glutamic acid (Glu)

$$\begin{array}{ll} HOOC-CH_2-CH_2- & CH-COOH \\ & | \\ & NH_2 \end{array}$$

الجلوتامين Glutamine (Gln)

$$\begin{array}{llll} H_2N- & C & -CH_2-CH_2- & CH-COOH \\ & \| & & | \\ & O & & NH_2 \end{array}$$

الأحماض الأمينية القاعدية

الأرجينين Arginine (Arg)

$H{-}N(C(=NH)NH_2){-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH(NH_2){-}COOH$

اللايسين Lysine (Lys)

$CH_2(NH_2){-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH(NH_2){-}COOH$

الهيدروكسي لايسين

Hydroxylysine (Hyl)

$CH_2(NH_2){-}CH(OH){-}CH_2{-}CH_2{-}CH(NH_2){-}COOH$

الهستيدين Histidine (His)

HN N $-CH_2{-}CH(NH_2){-}COOH$

الأحماض الأمينية العطرية

الفينيل الانين Phenylalanine (Phe)

$-CH_2{-}CH(NH_2){-}COOH$

التيروزين Tyrosine (Tyr)

HO $-CH_2{-}CH(NH_2){-}COOH$

التربتوفان Tryptophan (Try)

N–H $-CH_2{-}CH(NH_2){-}COOH$

البرولين Proline (Pro)

الهيدروكسى برولين Hydroxyproline (Hyp)

روابط بناء البروتين
PROTEIN STRUCTURE BANDS

تتكـون البروتينـات مـن لبنـات اساسـية كمـا تبنـى البنايـات المعماريـة مـن الطـوب والاحجار وتعتبر الاحماض الامينية السابق شـرحها هـى البنـاءات البروتينيـة وكمـا ترتبـط وحدات البناء المعمارى بمواد لاصقة مثل الخرسانة والجـير والجبـس والغـراء وغيرهـا فـإن الاحماض الامينية (التى هى بناءات اساسية للبروتين) تترابط ايضـا فيمـا بينـها بواسـطة روابط مختلفة متباينة القوة ويناسب كل منها حالة معينـة او نوعيـة معينـة مـن الاحمـاض الامينية وتتكاثف الوحدات المكونة لجزئ البروتين تكثيفا ببتيديا على صورة سلسلة طويلـة ثم تتكاثف هذه السلسلة مع بعضها فى كتل وطبقات فى بناء ثانوى ثم تتراكم هذه الطبقات، والكتل فى صورة بناء ثالثى او رابعى ، ويمكن ايجاز الروابط فى بناء البروتين فيما يلى :

(١) الروابط الببتيدية Peptide Bond

وهى تتكون نتيجة اتحاد مجموعة الكربوكسيل من حمض امينى مع مجموعة الامـين التى فى الوضع (الفا) من الحمض الامينى الاخر ، ويخرج جزئ الماء ، وهذه الرابطة هى اساس البناء البروتينى و اهم روابط البروتين و اكثرها ثباتـا ، و يترتب علـى تكـون هـذه الرابطة ظهور سلاسل قصيرة او طويلة او طويلة جدا شكل (٤٥).

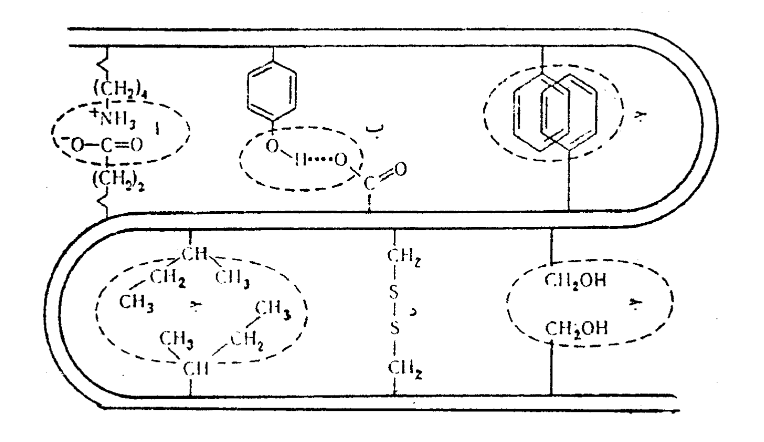
$$CH_2\text{-}COOH \;(NH_2) \;\text{glycine} + HNH\text{-}CH_2\text{-}COOH \;\text{glycine} \longrightarrow CH_2\text{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}\text{-}NH\text{-}CH_2COOH \;\text{Glycylglycine} + OH_2$$

$$HNH - \overset{R}{CH} - COOH \quad HNH - \overset{R}{CH} - COOH \quad HNH - \overset{R}{CH} - COOH$$

شكل (٤٥) الرابطة الببتيدية

(٢) الرابطة الهيدروجينية HYDROGEN BOND

تحدث هذه الرابطة حينما تحمل ذرة الاكسجين او ذرة النيتروجين زوجا غير مشطور من الالكترونات بالقرب من مجموعة تحتوى علـى بروتـون مرتبـط ارتباطـا ضعيفـا ، وهـى تتكون من CO , NH^2 شكل (٤٦ – ب) ،و تمثل هذه الرابطة المادة الاسمنتية التـى تربـط بنايات الجزئ البروتونى .



شكل (٤٦)

انواع الروابط بين شقوق بواقى الأحماض الأمينية فى جزئ البروتين

(أ) تفاعل الكتروستاتى (ب) روابط هيدروجينية

(جـ) تفاعل " النقطة الدهنية" (د) الروابط ثنائية الكبريتيد

و يشير الخط الملتوى المزدوج الى متن سلسلة عديد الببتيد

(٣) الرابطة الملحية SALTBOND

وتحدث بين مجاميع ذات شحنات موجبة او سالبة فى الجزئ البروتين نتيجة لقوة التجاذب الالكترستاتيكية شكل (٤٦ – أ).

(٤) الرابطة السستينية

و هى رابطة قوية تربط حمضين من السيستئين فى مناطق التواء السلسلة الببتيدية كما فى شكل (٤٦ – د).

(٥) رابطة المنطقة الدهنية

و تنتج عن تلاقى المجموعات المتشابهة فى السلاسل الجانبية للأحماض الأمينية مع بعضها و ينتج التفاعل فى هذه الحالة بسبب دفع جزيئات المذيب للشقوق الكارهة للماء "المنطقة الجافة " شكل (٤٦ – جـ) .

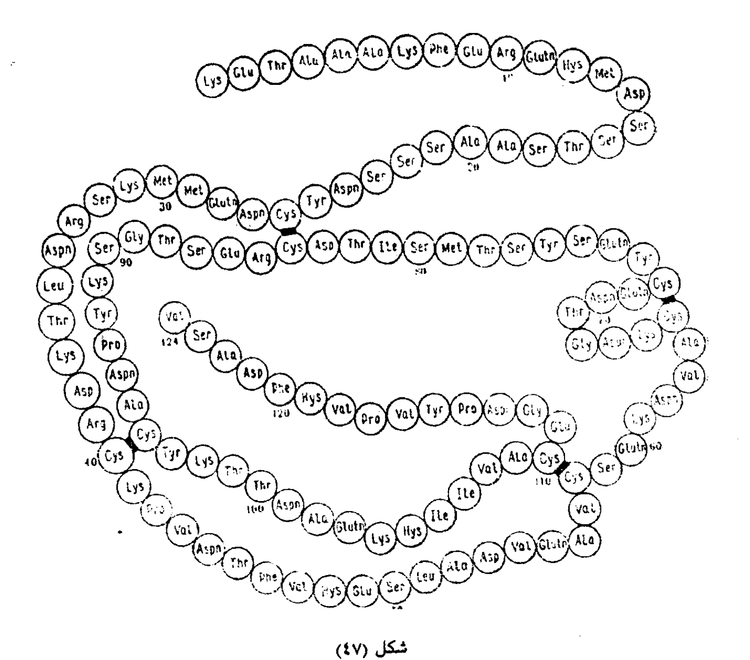
مراتب البناء البروتينى Orders of protein structure

البناء الاولى للبروتين Primary structure

ويقصد به تتابع مواقع الاحماض الاسينية فى سلسلة واحدة او عدة سلاسل من عديد الببتيد المكون لجزئ البروتين . وبمعرفة البناء الاولى للبروتين يمكن باالتالى كتابة الصيغة الكيميائية التامة .

ويعتبر التعرف على البناء الاولى للبروتينات من اصعب واعمق العمليات الكيميائية ولذلك فإنه مع التسليم بوجود ضروب لا حصر لها من البروتينات تفوق العدد الخيالى فإنه لم يتمكن العلماء من معرفة التركيب الاولى الا لعدد محدود للغاية من البروتينات البسيطة مثل : الانسيولين ويحتوى على ٥١ حمضا امينيا والسيتوكروم ويحتوى على ١٠٤ حمضا وهموجلوبين الانسان ويحتوى على سلسلتين الفا وبها ١٤١ حمضا وبيتا وبها ١٤٦ حمضا وانزيم الريبو نيوكلييز ويحتوى على ١٢٤ حمضا شكل (٤٧).

ويتوقف تنوع صفات البروتينات المختلفة فى المقام الاول على البناء الاولى للجزيئات البروتينية .



شكل (٤٧)

البناء الأول لجزئ انزيم الريبونيوكليز المفصول من بنكرياس الثور ، و ترمز المستطيلات السوداء الى مواضع الجسولار الثنائية– الكبريتيد

نماذج من البروتينات البسيطة فى البناء الاولى للببتيدات

تم فى الوقت الحاضر فصل مايربو عن ١٢٠ ببتيد منفرد من المصادر الطبيعية ونـورد فيما يلى احد هذه الببتيدات :

١ - الجلوتاثيون Glutathione

ويتكون من الجلايسين والسستيئين والجلوتاميك وله دور هام فى منع تكون البيروكسيدات فى جميع الخلايا ومن ثم المحافظة على الجدر الخلوية والتحت - خلوية ، وهو يعتبر مرافق انزيمى لبعض نظم انزيمات الاكسدة والاختزال شكل (٤٨).

$$\underbrace{HOOC-\underset{NH_2}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_2-CO}_{\text{باقى حامض الجلوتاميك}}-\underbrace{NH-\underset{CH_2-SH}{\underset{|}{CH}}-CO}_{\text{باقى السستئين}}-\underbrace{NH-CH_2-COOH}_{\text{باقى الجليسين}}$$

الجلوتاثيون الصورة المختزلة

$\rightleftarrows$

```
HOOC—CH2—NH                              NH—CH2—COOH
          |                              |
          CO                             CO
          |                              |
          CH—CH2—S—S—CH2—CH
          |                              |
NH2       NH                             NH          NH2
|         |                              |           |
CH—(CH2)2—CO                             CO—(CH2)2—CH
|                                                    |
COOH                                                 COOH
```

SS—glutathione

(الصورة المؤكسدة ثنائية الكبريت)

شكل (٤٨)

الجلوتاثيون كواحد من الببتيدات الثلاثية البسيطة

البناء الثانوى للبروتين : Secondary protein structure

يقصد بالبناء الثانوى التركيبات البنائية المميزة لواحدة او عدة سلاسل من عديد البيبتيد التى تدخل فى بناء البروتين . فإذا كان البناء الاولى هو تتابع الاحماض الامينية فان البناء الثانوى هو الهيكل البنائى الفراغى (**المجسم**) لكل عديد ببتيد وقد لوحظ ان سلاسل عديد البيبتيد لا تكون فى الواقع كما نتصورها نظريا بإنها سلسلة مستقيمة تنتظم فيها الاحماض الامينية على محور مستقيم كما تنتظم حبات السبحة فى الخيط وانما اثبت الفحص بالاشعة السينية وغيرها ان سلسلة عديد البيبتيد تلتف فى شكل حلزونى من النوع α فى اتجاه عقارب الساعة كما فى الشكل (٤٩)

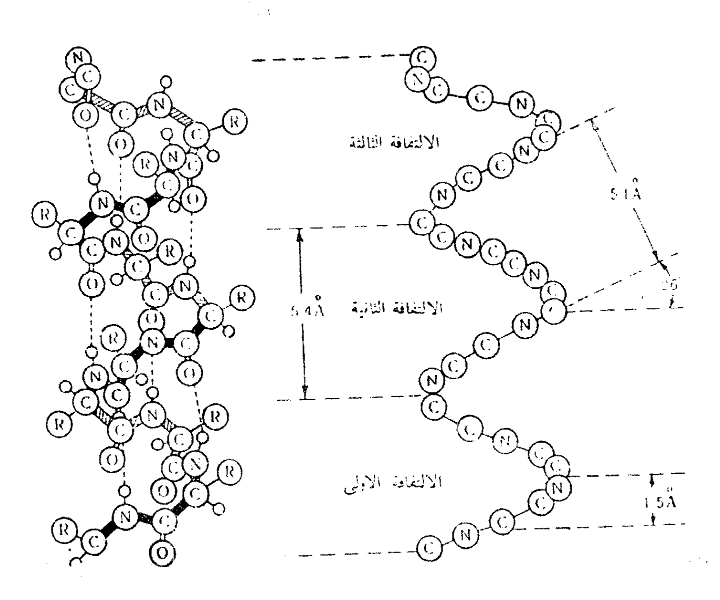
ويدخل فى كل التفافه للحلزون ٣-٦ احماض امينية تكون شقوقها متجهة دائما الى الخارج والى الخلف قليلا اى بمعنى انها تكون منحرفة فى اتجاة بداية سلسلة عديد البيتيد . وتكون درجة خطوة الحلزون (المسافة بين الالتفافة و الاخرى) مساوية ٥,٤ انجسترم[١] وزاوية صعود الالتفافة ٢٦° .

وتلعب الروابط الهيدروجينية دورا هائلا فى تكوين التركيب البنائى للحلزون والمحافظة عليه وتنشأ هذه الروابط كما علمنا بين مجاميع NH , - CO- الموجودة فى متن سلسلة عديدة البيبتيد والواقعة على الالتفافات الحلزونية المتجاورة (ويرمز للروابط الهيدروجينية فى الشكل (... بخط منقط) .

---

(١) الانجسترم وحدة طول دقيقة يساوى جزء من عشرة الاف جزء من الميكرون

وعلى الرغم من ان طاقة هذه الروابط ليست كبيرة الا انه نظرا لعددهـا الكبـير فإنـها تؤدى الى طاقة هائلة تكون كافية لجعل التركيب البنائي للحلزون صلبا وثابتا . وليس مـن الضرورى أن تكون جميع اجزاء او سلاسل الببتيدات في جزئ البروتين على شكل حلزون محكم قوى الالتفاف بل ربما كان بعضها كذلك وبعضها اقل التفافا وبعضها مستقيما بحيث تتناوب المناطق الملتفة حلزونيا مـع المنـاطق المستقيمة فـى سلاسـل عديـد الببتيـد المكونـه لجزيئات البروتين .



شكل (٤٩)

نموذج و رسم تخطيطى للحلزون الفا فى البناء الثانوى للبروتين

البناء الثالثى للبروتين Tertiary protein structure

ويقصد بالبناء الثالثى لجزئ البروتين " الوضع العام فى الفراغ لوحدات او اكثر من سلاسل عديد الببتيد المكونة للجزئ والتى تتصل ببعضها بواسطة روابط تساهمية . ويعتبر تعيين البناء الثالثى لجزئ البروتين مسألة معقدة جدا ، وحتى الان لم يتم تعيين البناء الثالثى الا لعدد قليل للغاية من البروتينات من بينها الميوجلوبين (شكل ٥٠ - أ ، ب) واالريبونيوكليز (شكل ٥٠ جـ) و الليسوزيم (شكل ٥٠ - د).

والبناء الاولى يتحكم الى حد كبير فى البناء الثالثى للجزئ ، لان بقايا الاحماض الامينية طبقا لتتابعها فى البناء الاولى تحافظ على وضع سلسلة عديد الببتيد المميز للبناء الثالثى فى الفراغ - واهم دور فى هذه المحافظة هو ما تلعبة الجسور ثنائية الكبريتيد الناشئة عن تتابع السستيئين فى السلسلة :

كما ان هناك طريقة اخرى تعمل على انشاء وتثبيت البناء الثالثى لجزئ البروتين الا وهى القوى المحركة التى تقوم بطى او ثنى سلاسل عديد الببتيد لكى تعطى شكلا ثلاثى الابعاد نتيجة تفاعل شقوق الاحماض الامينية مع جزيئات المذيب المحيط بها . فتندفع الشقوق الطاردة للماء **Lyophobe** داخل الجزئ البروتينى مكونه به منطقة جافة تسمى (النقطة الدهنية) بينما تتوجه الشقوق المحبة للماء **Lyophil** نحو المذيب وعلى ذلك تكون جميع المجموعات القطبية على السطح مثل شقوق اللايسين القطبية فى الداخل كما هو الحال فى الهيموجلبين حيث يبقى الهستدين فى الداخل ليتحد مع مجموعة الهيم .

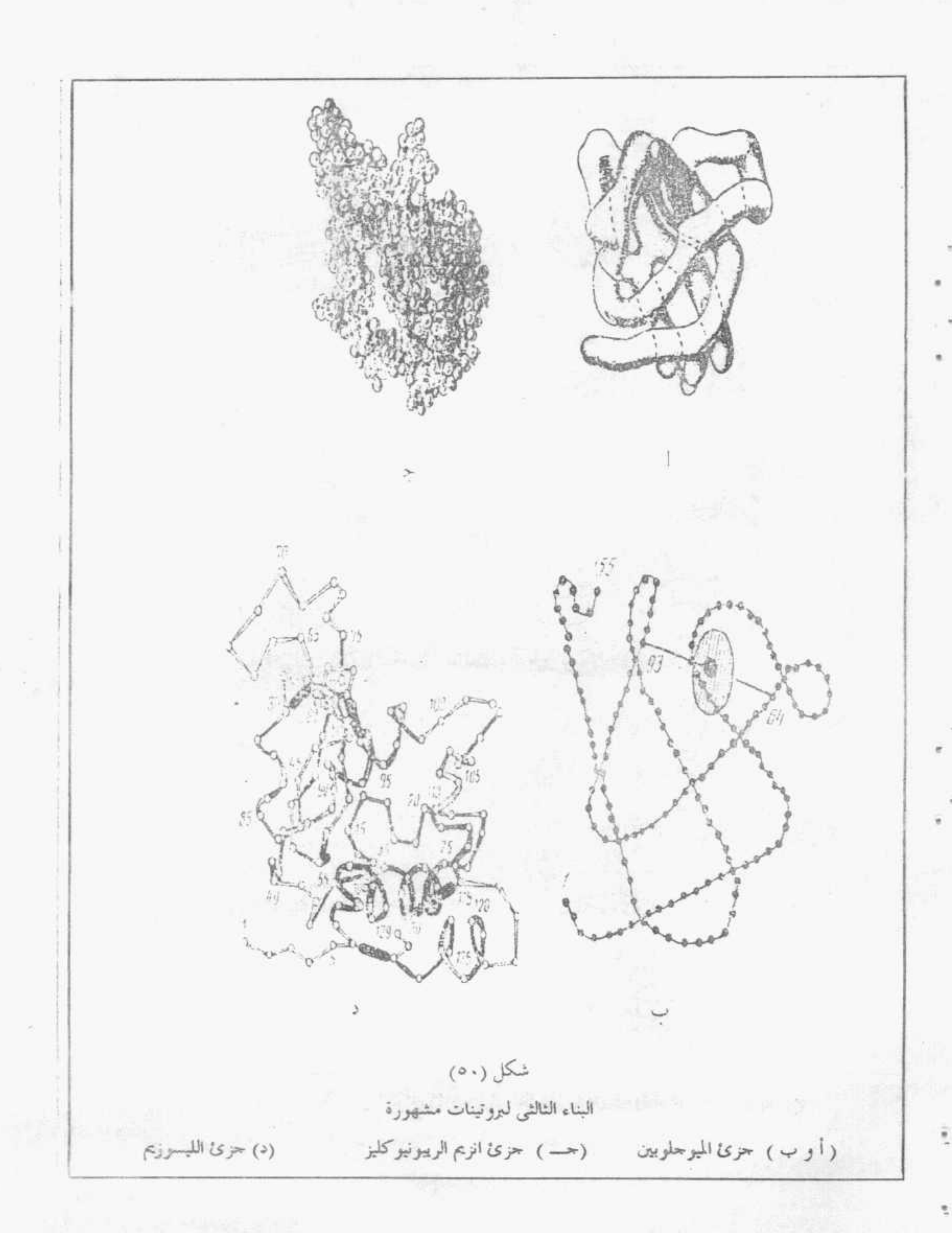
البناء الرابعى للبروتين Quaternary protein strueture

الجزيئات الكبيرة للبروتينات تتكون من تحت وحدات ذات اوزان جزيئية اقل نسبيا ، ويطلق اسم البناء الرابعى على الـترتيب الفراغـى المتبـادل لتحـت الوحـدات فـى جـزئ البروتين الكبير .

فعلى سبيل المثال يتكون الجلوبين الداخل فما تركيـب الهيموجلبـين مـن ٤ وحـدات وكـل تحت وحدة تتكون من سلسلة من عديد الببتيد اثنين مـن هـاتين السلسـلتين تحتوىعلـى تناسق من الاحماض الامينية فى الوضع (α) والسلسـلتين الاخريتـين فـى الوضـع (β) وترتبط كل سلسلة من السلاسل الاربع بمجموعة هيم (شكـل ٥١ أ ، ب).

ويوضح شكل (٥١ – جـ ، د) رسما تخطيطيا للبناء الرابعى للبروتين المعقد الخاص بفيروس موازيك الدخان ويحتوى الجزئ العملاق (ذو الـوزن الجزيئـى ٤٠ مليـون) علـى عدد كبير من تحت الوحدات تصل الى ٢١٣٠ تحت وحدة وهو فـى مجموعـة يكـون علـى شكل عصا طولها حوالى ٣٠٠٠ A° وتترتب تحت وحداته على شكل حلزونـى تتكـون كـل لفة منه من ١٦ تحت وحدة .

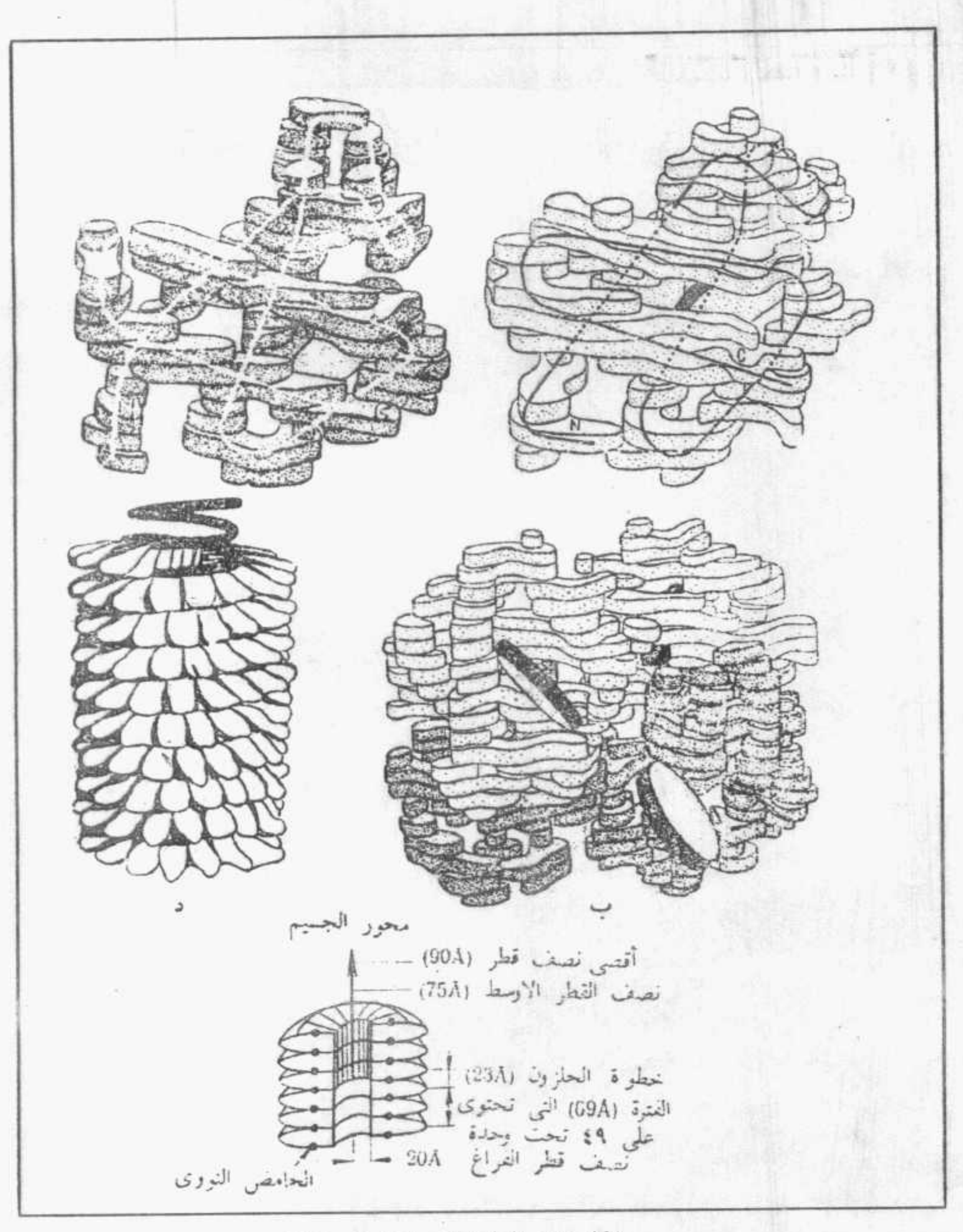
وقد اتفق على ان تسمى الجزيئات الكبيرة ذات البناء الرابعى والتى تتكون من تحت وحدات باسم (المولتيمـيرات Multimers) فـى حـين تسـمى تحـت الوحـدات باسـم " بروتوميرات Protomers"



شكل (٥٠)

البناء الثالثى لبروتينات مشهورة

(أ و ب) جزئ الميوجلوبين (جـ) جزئ انزيم الريبونيوكليز (د) جزئ الليسوزيم



شكل (٥١) البناء الرابعى لبعض البروتينات

أ ، ب جزئ الهيموجلوبين (احد تحت الوحدات من نوع بيتا)

ج،د جزئ فيروس موزايك الدخان

هضم البروتينات

DIGESTION OF PROTEIN

تنقسم انزيمات التحلل المائى للبروتينات الى نوعين :

النوع الاول: ويعمل على البروتينات المبنية بناء ثانويا او ثالثيا او رابعيا وتنتج سلاسل ببتيدية ولكنها لا تؤدى الى تفكك احماض امينية حرة وتسمى هذه الانزيمات انزيمات (بتيد - بيتيد هيدرولين piptide- piptede hydrlase

النوع الثانى : وهى انزيمات تعمل على السلاسل الببتيدية ونواتج وسيطية وتنتهى الى الاحماض الامينية وتسمى انزيمات ببتيدية.

ومن امثلة النوع الاول فى الحيوانات الراقية والطيور ثلاثة انزيمات هى:

١- **البيبسين Pipsin** وهو يفرز من الغشاء المخاطى للمعدة وهو انزيم متخصص اذ يؤثر على الروابط الببتيدية الناتجة عن الاحماض الامينية الاروماتية (مثل التيروزين والفينيل الانين) او ثنائية الكربوكسيل مثل حمض الاسبارتيك والجلوتاميك .

٢- التربسين Trysin : وهو يفرز من البنكرياس ويؤثر على الرابطة الببتيدية الناتجة عن الاحماض الامينية (الارجينين واللايسين).

٣- الكيموتربسين Chemotrypsin ويفرز من البنكرياس ايضا ويؤثر على الروابط الببتيدية الناتجة عن الاحماض ثنائية الامين مثل اللايسين وايضا الناتجة عن الجلايسين.

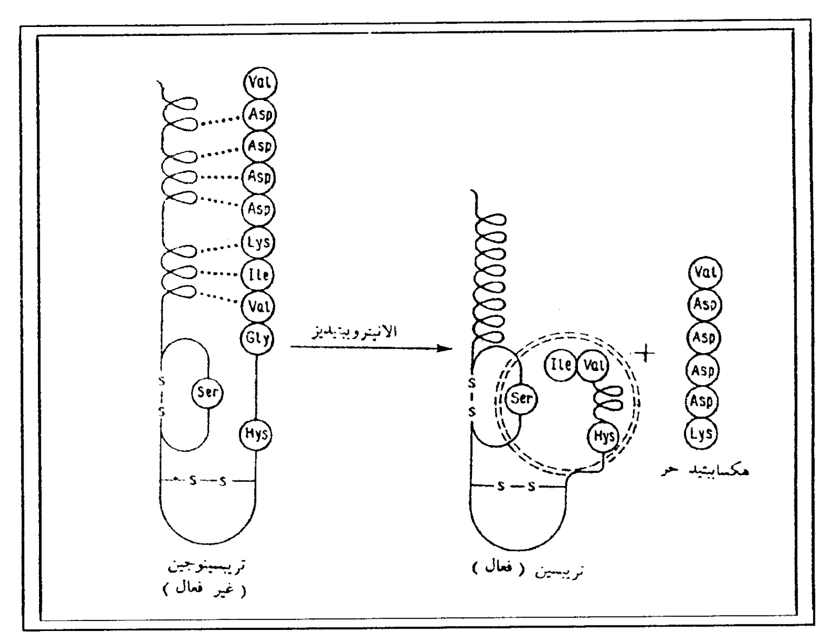
وتفرز هذه الانزيمات الثلاثية على صورة غير فعالة تسمى (**سابقة انزيمية** preenzymes) و اسمها الشائع القديم **بسينوجين** ، **تربسينوجين** و **كيموتربسينوجين**

على الـترتيب pepsinogen , trypsinogen, chemotrysinogin ويرجـع ذلـك الى ان مراكزها الفعالة تكون مسدودة بواسطة سلسلة ببتيدية اضافية ، ويكتسب الانزيـم فاعليتـه بعد نزعها بالتحليل المائى .

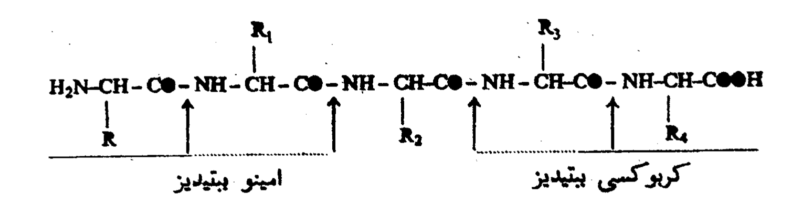
وقد تم بالفعل التعرف على البناء الاولى لكل من التربيسين والكيموتربسـين ويوضـح الشكل (٥٢) عملية تنشيط التربسـين حيـث تشـير (-s-s-) الى الجسـور ثنائيـة الكبريتيد وتشير الخطوط المنقطة الى الروابط الايونية والهيدروجينية بين مقطع سلسلة الببتيـد الـذى يعوق تكوين المركز الفعال والجزء الحلزونى من جزئ التريسـينوجين ويشـير الخـط الثقيـل (الدائرة) الى مكان المركز الفعال الذى ينشا كنتيجة لانفصال الببتيد السداسـى ويصبـح مـن الممكن فى هذه الحالة فقط الالتفاف الحلزونى للمنطقة الطرفيـة مـن سلسـلة عديـد الببتيـد ويؤدى ذلك الى اقتراب شقوق السيرين والهستدين التى تلعب الـدور الرئيسـى فـى التحلـل المائى الانزيمى لسلاسل عديدة الببتيد .

ومن امثلة النوع الثانى توجد ثلاثة انواع فى القناة الهضمية وتستطيع هذه الانزيمات نـزع الاحمـاض الامينيـة مـن الببتيـد مبتدئـة امـا مـن ناحيـة الاحمـاض الامينيـة ذات مجموعةالكربوكسيل و تسمى حينئذ كربوكسى بيتيديز carboxypeptidase او من ناحيـة الاحمـاض الامينيـة ذات مجموعـة الامـين الحـرة وتسـمى حينئـذ امينوببتيديـز aminopeptidase وفيما يلى توضيح لفعل انزيمات الامينـو والكربوكسـيل ببتيديـز شـكل (٥٣).

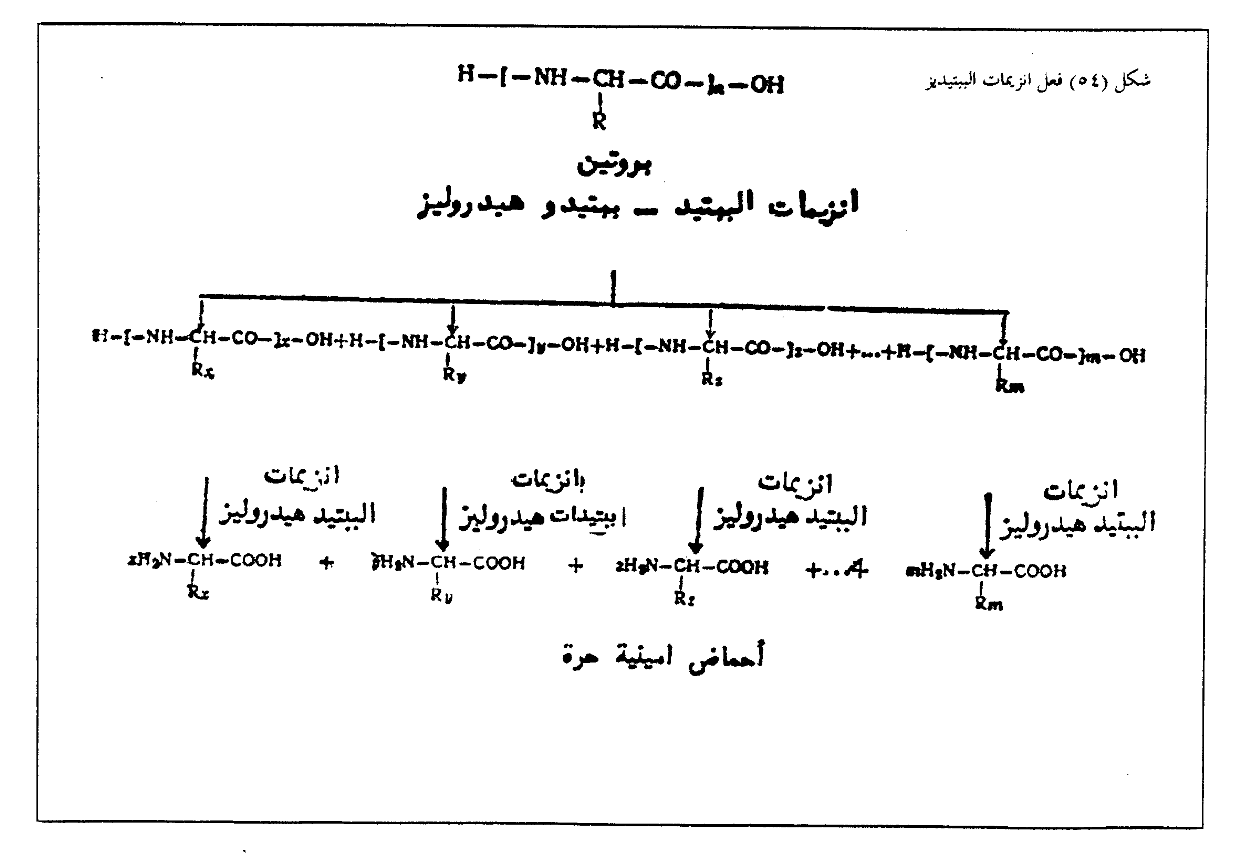
ويطلق على انزيمات الببتيدهيدروليز التى تحلل الببتيد الثنائى الاخير انزيمات ثنائى ببتيديز dipeptidase ويعرف منها حوالى عشرة انزيمات وهى التى تقوم بإستكمال التحلل النهائى للبروتين الى الأحماض الأمينية شكل (٥٤) .



شكل (٥٢) عملية تنشيط التريبسين



شكل (٥٣) فعل و موضع عمل انزيمى الكربوكسى ببتيديز و الأمينو ببتيديز



شكل (٥٤) فعل انزيمات الببتيديز

امتصاص الاحماض الامينية

Amino Acids Absorption

علمنا ان الناتج النهائى لهضم البروتينات الحقيقية هـى الاحمـاض الامينيـة ومـع انها تكاد تكون اصغر الوحدات التـى تنتـهى اليـها عمليـة الهضـم مقارنـة بالسـكريات او الجلسريدات او الاحماض الدهنية الا انها تخضع لضوابط صارمة عند امتصاصـها. وسـوف نشير الى موجز لهذه الضوابط بشكل مبسط:

(١) الصورة (L) فقط فى الاحماض الامينية هى التى يمكن ان تمتص مـن ميكـوزا الامعـاء بالنقل النشط .

(٢) يدخل فيتامين B_6 ((Pyridoxal phosphate)) فى المساعدة على امتصاص الاحمـاض الامينية

(٣) يمكن ان تمتص الصورة (D)لكن بالانتشار البسيط وليس بالنقل النشط

(٤) توازن نسب الاحماض الامينية الضرورية فى مكان الامتصـاص ضرورى لاتمـام عمليـة الامتصاص .

(٤) بعض الاحماض الامينية يتم امتصاصها بمساعدة احد مشتقات حمض البيوتـاريك -∝ amino iso butyric acid وبعضـها تمتـص بمسـاعدة مركـب اخـر 1- amino cylopentane- 1-carboxylic acid.

(٥) والنقل النشط للاحماض الامينية يتوقف على المعايير التالية (شكل ٥٥)

١- الصورة التماثلية البنائية (الصورة L فقط هى التى تنتقل بهذا الطريق)

٢- وجود مجموعة الكربوكسيل الحقيقية .

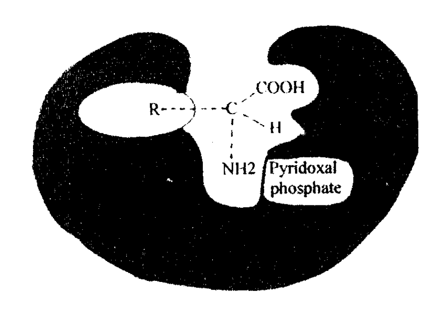
٣- مجموعة الامين فى الوضع الفا

٤- الهيدروجين فى الوضع الفا

٥- وجود البيرودوكسال فوسفات

٦- ذوبان السلسلة الجانبية فى الجزء الدهنى لغشاء الخلية المخاطية

٦- يبدو ان الاحماض الامينية جميعها تشترك فى نظام حملى واحد او ان لكل نظام حملى عدد من الاحماض الامينية فمثلا وجد ان اللايسين والارجنين والاورنسين تشترك فى النظام الحملى مع السستين.



شكل (٥٥)
امتصاص الحمض الأمينى
وعلاقته بتناسق بنائه

٧- ربما يشذ حامض الاسبارتيك والجلوتاميك عن الاحماض الامينية الاخرى فى انها قد تنتقل بالانتشار البسيط ولاتنتقل بالنقل النشط .

٨- ويحتاج النظام الحملى النشط للاحماض الامينية الى ايون الصوديوم كما فى السكريات.

ايض الاحماض الامينية
AMINO ACID METABOLISM

يحدث للأحماض الأمينية تحولات و تفاعلات عديـدة داخـل الجسـم اثنـاء التمثيـل الغذائى حتى يستقر بها الحال الى ما ستؤل اليه من مصير و تنقسم هذه التحولات الى ثلاثة اقسام هى :

(١) تحولات البناء

(٢) تحولات الهدم

(٣) تحولات انتقال و نزع المجاميع النشطة

و القسمين الاول و الثانى نترك تفاصيلهما للكتاب المطول و نتكلم بايجاز عـن القسـم الثالث فيما يلى :

اولا : تفاعلات مجموعة الامين

(١) نزع مجموعة الامين Deamination

ويتم خلالها نزع مجموعة الامين من الحمض الامينى و تخرج مجموعة الامـين لتقـى مصيرهـا بتحولهـا الى بولينـا او تحولهـا الى حمـض كيتونـــى يســلك طريقـــه فـــى ايــض الكربوهيدرات السابق شرحه لاعطـاء الطاقـة او تكـون الجليكوجـين او االدهـون و تتـم عملية نزع مجموعة الامين بكيفيتين :

(أ) عندما يرتبط نزع مجموعة الامين بالاكسدة

وفيها تتحول مجموعة الامين فى الحمض الامينى الى مجموعة ايمين اولا ثم الى مجموعة كيتون ويتم بهذا الطريق تحول : الجلوتاميك الى الفا كيتوجلوتاريك و الاسبارتيك الى الاكزالوخليك و الجلايسين الى جلايواكسيليك و شكل (٥٦) يوضح احد هذه التفاعلات.

(ب) نزع مجموعة الامين بدون اكسدة

وتتم على ثلاث خطوات : فى الاولى يتم نزع جزئ الماء ، و فى الثانية تحول مجموعة الأمين الى إيمين و فى الثالثة تتحول مجموعة الكربونيل التى كانت مرتبطة بالأمين (الإيمين الجديدة) الى مجموعة كيتون و تخرج النشادر .

و تتم هذه العملية على الأحماض الهيدروكسيلية مثل السيرين شكل (٥٧) و الكبريتية مثل السستئين شكل (٥٨).

$$\underset{\text{L-glutamic acid}}{\underset{H_2N-CH-COOH}{CH_2-CH_2-COOH}} + DPN^+ \rightleftharpoons \underset{\alpha\text{-iminoglutaric acid}}{\underset{HN=C-COOH}{CH_2-CH_2-COOH}} + DPNH + H^+ + H_2O$$

$$\rightleftharpoons \underset{\alpha\text{-ketoglutaric acid}}{\underset{O=C-COOH}{CH_2CH_2-COOH}} + NH_3$$

شكل (٥٦)
تحول الجلوتاميك
الى الفا كيتو جلوتاريك

وعموما فان نزع مجموعة الامين تختلف باختلاف نوعية الحمض الأمينى ، فيتم نزع مجاميع الأمين من الأحماض المحتوية على الكبريت (السستئين و الميثايونين) بنزع

الأمونيا وكبريتيد الهيدروجين و الميثيل على الترتيب ، بينما يتم نزع مجاميع الأمين من الأحماض الكربوكسيلية (السيرين و الثريونين) بنزع الأمونيا و الماء ، و هكذا .

$$\underset{\text{serine}}{HO-CH_2-\underset{\underset{NH_2}{|}}{CH}-COOH} \xrightarrow{-H_2O} \underset{\text{intermediate}}{CH_2=\underset{\underset{NH_2}{|}}{C}-COOH} \leftrightharpoons$$

$$\underset{\text{imino acid}}{CH_3-\underset{\underset{NH}{\|}}{C}-COOH} \overset{\pm H_2O}{\rightleftharpoons} \underset{\text{pyruvic acid}}{CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-COOH} + NH_3$$

شكل (٥٧)
تحول السيرين الى البيروفيك بنزع مجموعة الأمين و الماء

$$\underset{\text{cysteine}}{HS-CH_2-\underset{\underset{NH_2}{|}}{CH}-COOH} \xrightarrow{-H_2S} \underset{\text{intermediate}}{CH_2=\underset{\underset{NH_2}{|}}{C}-COOH} \leftrightarrow$$

$$\underset{\text{imino acid}}{CH_3-\underset{\underset{NH}{\|}}{C}-COOH} \xrightarrow{\pm H_2O} \underset{\text{pyruvic acid}}{CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-COOH} + NH_3$$

شكل (٥٨)
تحول السستيئن الى البيروفيك بنزع مجموعة الأمين و الكبريتيد والماء

الاحماض الامينية الهيدروكسيلية مثل السيزين والثريونين والهرموسيرين تنزع منها مجموعة الامين بمساعدة انزيمات متخصصة حيث تنزع مجموعة الهيدروكسيل بنزع شقى الماء من الحمض الاميني ثم يحول الى حمض كيتوني .

عملية نقل مجموعة الامين Transamination

و هى اهم تفاعلات مجموعة الامين ، وتفاعلات ايض الاحماض الامينية حيث يتم عن طريقها تخليق العديد من الاحماض الامينية وكذلك تحول العديد ايضا منها الى احماض كيتونية تدخل فى عمليات الاكسدة لانتاج الطاقة او تتحول الى سكريات ثم جليكوجين او تتحول الى احماض دهنية ثم دهون .

وهذا التفاعل يعتبر عمليتى نزع واضافة مجموعة الامين Amination ، Deamination فى وقت واحد فى تفاعل واحد بواسطة انزيم واحد .

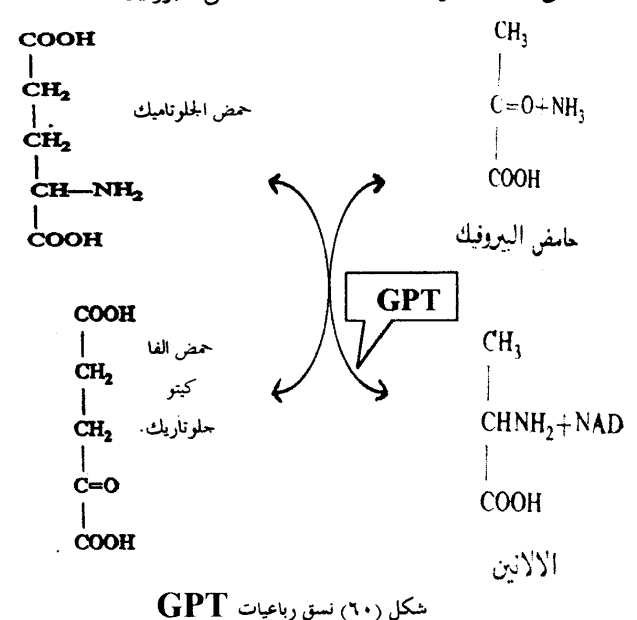
ويلزم لاتمام هذه العملية نظام انزيمى خاص لكل نسق يتكون من اربعة احماض (حمضان امينيان وحمضان كيتونيان) حيث يبدأ التفاعل بحمض امينى مانح وحمض كيتونى مستقبل لينتج حمض امينى وحمض كيتونى آخران ، وهى تفاعلات عكسية بمعنى انه يمكن ان يحدث العكس فتبدأ العملية بالحمضين الاخيرين لينتج الحمضين الاولين لذلك نفضل ان تسمى هذه الرباعيات بنسق النقل الامينى شكل (٥٩)

$$\underset{\text{amino acid 1}}{\begin{matrix} COOH \\ | \\ HC{-}NH_2 \\ | \\ R_1 \end{matrix}} + \underset{\text{keto acid 2}}{\begin{matrix} COOH \\ | \\ CO \\ | \\ R_2 \end{matrix}} \rightleftharpoons \underset{\text{keto acid 1}}{\begin{matrix} COOH \\ | \\ CO \\ | \\ R_1 \end{matrix}} + \underset{\text{amino acid 2}}{\begin{matrix} COOH \\ | \\ HC{-}NH_2 \\ | \\ R_2 \end{matrix}}$$

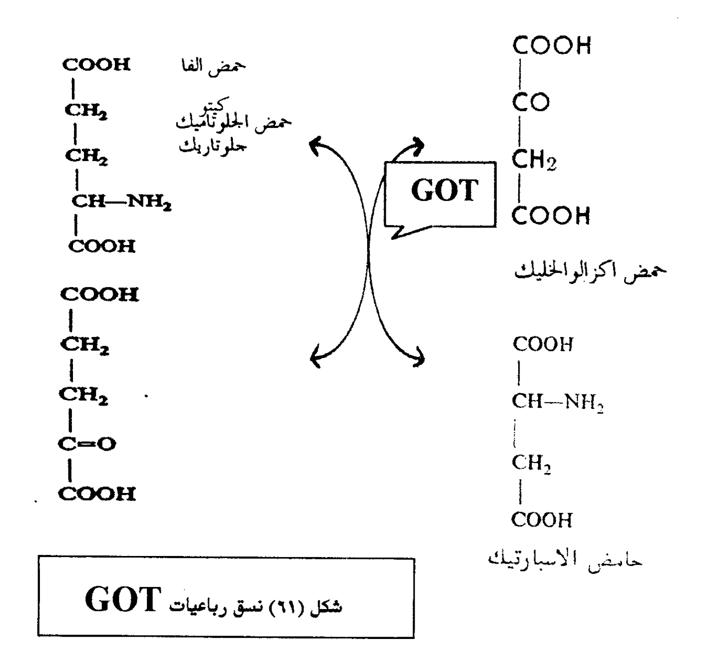
شكل (٥٩) رباعيات نسق النقل الامينى

ومن امثلة ذلك حمض الجلوتاميك وحمض البيروفيك وحمض الالانين وحمض الفـا-كيتو-جلوتاريك ويحفز هـذا النظـام الربـاعى انزيـم Glutamic-Pyruvic transaminase ويختصر اسمه عادة الى (GPT) وايضا نسق حمـض الجلوتـاميك وحمـض اكزالـو الخليـك وحمض الاسبارتيك وحمض الفا-كيتو-جلوتاريك ويحفزه انزيـم Glutamic-Oxaloacetic transaminase ويختصر اسمه عادة الى (GOT) شكل (٦٠ و ٦١) .

ولما كان هذان النسقان هما انشط انساق هذه العملية التـى تعـد اهـم عمليـات الايـض البروتينى ، ولما كان متعلقين بحمضى الجلوتاميك والاسبارتيك وهما اكثر الاحماض الامينية تواجدا فى البروتينات اتخذ تركيز كل من انزيمى (GPT)، (GOT) فى الدم او الكبد او الانسجة دليلا على كفاءة حدوث عمليات الايض الغذائى للبروتين .



شكل (٦٠) نسق رباعيات GPT



شكل (٦١) نسق رباعيات GOT

عملية إضافة مجموعة الامين Amination

يمكن للجسم تخليق بعض الاحماض الامينية من الاحماض العضوية عن طريق اضافة مجموعة الامين من مجموعة النشادر المتخلفة من عمليات التمثيل الغذائى المختلفة ، وذلك بتكوين حمض الجلوتاميك اولا بإضافة مجموعة النشادر الى حمض الالفا كيتوتاريك شكل(٦٢) ، ثم انتقالها الى الاحماض الاخرى بالطرق السابقة ، وتعد هذه العملية من العمليات الهامة لتخليق الاحماض الامينية غير الاساسية non-essential amino acids فى

جسم الحيوانات ويتم ايضا تخليق الالانين من البيروفيك على خطوتين شكل (٦٣) وبنفس النسق ايضا يتم تخليق الاسبارتيك من الاكزالو خليك، وتبدو هذه العمليـة كعمليـة عكسـية تماما لعملية نزع مجموعة الامين.

ويكاد يقتصر تخليق الاحماض الامينية بإضافة مجموعة الامين على هذه الاحمـاض الثلاثة اما بقية الاحماض الامينيـة غـير الاساسـية فيتـم تخليقـها بنقـل مجموعـة الامـين Transamination.

$$\underset{\text{L-glutamic acid}}{\begin{matrix} DPN^{+} \\ + \\ CH_2-CH_2-COOH \\ | \\ H_2N-CH-COOH \end{matrix}} \rightleftharpoons \underset{\alpha\text{-iminoglutaric acid}}{\begin{matrix} DPNH + H^{+} \\ + \\ CH_2-CH_2-COOH \\ | \\ HN=C-COOH \end{matrix}} + H_2O$$

$$\rightleftharpoons \underset{\alpha\text{-ketoglutaric acid}}{\begin{matrix} CH_2CH_2-COOH \\ | \\ O=C-COOH \end{matrix}} + NH_3$$

شكل(٦٢) تحول حمض الجلوتاريك والنشادر الىحمض الجلووتاميك

ثانيا : تفاعلات مجموعة الكربوكسيل

نزع مجموعة الكربوكسيل Decarboxylation

تحدث عمليات نزع مجاميع الكربوكسيل من الاحماض الامينية بسهولة فى انسـجة الحيوان ويتبع تفاعلها نظاما واحدا على النحو التالى :

$$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ C{=}O + NH_3 \\ | \\ COOH \end{array} \rightleftarrows \begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ C{=}NH + H_2O \\ | \\ COOH \end{array}$$

حامض البيروفيك (α– كيتوبروبيونيك) α – ايمينو حامض البروبيونيك

$$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ C{=}NH + NAD\ .H_2 \\ | \\ COOH \end{array} \rightleftarrows \begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CHNH_2 + NAD \\ | \\ COOH \end{array}$$

الآلانين

$$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ C{=}O + NH_3 + NAD\ .H_2 \\ | \\ COOH \end{array} \underset{\text{ديهيدروجينيز}}{\overset{\text{الانين}}{\rightleftarrows}} \begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CHNH_2 + NAD + H_2O \\ | \\ COOH \end{array}$$

شكل (٦٣)

تخليق الالانين من حمض البيروفيك والنشادر

$$R-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH \xrightarrow{\text{الديكربوكسيليز}} R-CH_2-NH_2+CO_2$$

ويترتب على هذه النوعية من التفاعلات تحول الاحماض الامينية الى مركبات هامة فسيولوجية فى جسم الحيوان ومن امثلة ذلك :

١- يتحول الهيستدين (وهو حمض امينى) الى الهستامين شكل (٦٤) وهو احد اشباه الهرمونات الهامة التى تنبه الجسم لتكوين الاجسام المضادة عند الخطر ودخول اجسام او مركبات كيميائية غريبة الى الجسم .

$$\text{الهستيدين}\ (C_3H_3N_2)-CH_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH \xrightarrow[\text{(ا - هستيدين كربوكسيليز)}]{\text{الهستيدين ديكربوكسيليز}} CO_2+(C_3H_3N_2)-CH_2-CH_2NH_2\ \text{الهستامين}$$

شكل (٦٤)

تحول الهستيدين الى الهستامين

٢- ويتحول التربتوفان (وهو حمض امينى) الى التربتامين شكل (٦٥) الذى يتحول بسهولة الى السيروتنين وهو هرمون ذو تأثير فسيولوجى متعدد الجوانب ويرتبط على وجه الخصوص بنشوء الاحساس بالالم اثناء حدوث الالتهابات .

$$\text{Tryptophan (indole-3-yl-}CH_2-CH(NH_2)-COOH) \rightarrow \text{Tryptamine (indole-3-yl-}CH_2-CH_2-NH_2)$$

التربتوفان

التربتامين

شكل (٦٥) تحول التربتوفان الى التربتامين

٣- و يتحول حمض الاسبارتيك الى بيتا الانين شكل (٦٦) الذى يدخل فى تخليق حمض البانتوثنيك و هو من الفيتامينات.

$$HOOC-CH(NH_2)-CH_2-COOH \xrightarrow{\text{اسبارتات ديكربوكسيليز}} H_2N-CH_2-CH_2-COOH + CO_2$$

حامض الاسبارتيك

β ـ الانين

شكل (٦٦) تحول حمض الأسبارتيك الى بيتا الانين

٤- و يتحول السستئين الى التورين شكل (٦٧) ، و الذى يتحد مع حمض الكوليك فى الكبد لتكوين احد الاحماض الصفراوية فى مكونات الصفراء.

$$HS-CH_2-CH(NH_2)-COOH \xrightarrow{\text{اكسدة}} HO-S(=O)_2-CH_2-CH(NH_2)-COOH \xrightarrow[-CO_2]{\text{نزع مجموعة الكربوكسيل}} HO-S(=O)_2-CH_2-CH_2-NH_2$$

السيستئين — حامض السيستييك — التورين

شكل (٦٧) تحول السستئين الى التورين

ثالثا : تفاعلات مجموعة الميثيل

نزع مجموعة الميثيل Demethlation

يتم نزع مجموعة الميثيل من الميثايونين الذى يتحول الى السيستئين وتنتقـل مجموعـة الميثيل الى ثنائى ميثيل امينو ايثانول لتخليق الكولين وهو احد الفيتامينات واحـد مكونـات الفوسفوليبيدات شكل (٦٨).

اضافة مجموعة الميثيل Methylation

قد تحدث ميثله الحمض الامينى بإضافة مجموعة ميثيل اليه كما يحدث عند تخليق الادرينـالين مـن التـيروزين بعـد اكسـدته ونـزع مجموعـة الكربوكسـيل منـه شـكل(٦٩)، والادرينالين هو الهرمون الذى يفرز من الغدة الكظرية الذى ينبه ويحفز نشاط الجسـم عنـد الخطر ويوسع حدقة العين ويرفع ضغط الدم ويزيد ضربات القلب ويسرع من التنفس.

$$HO-CH_2-CH_2-N(CH_3)_2$$

ثنائى ميثيل امينو ايثانول

$$CH_3-S-(CH_2)_2-CH(NH_2)-COOH$$

الميثيونين

$$HO-CH_2-CH_2-\overset{+}{N}(CH_3)_3$$

كولين

$$HS-CH_2-CH(NH_2)-COOH$$

السيستيين

شكل (٦٨) نزع مجموعة الميثيل من الميثايونين

$$HO-C_6H_4-CH_2-CH(NH_2)-COOH \longrightarrow (HO)_2C_6H_3-CH(OH)-CH_2-NH-CH_3$$

Epinephrine

شكل (٦٩) ميثلة التيروزين الى الأدرينالين

رابعاً: تفاعلات هيكل الاحماض الامينية

تحدث تغيرات فى هيكـل بعـض الاحمـاض الامينيـة فتتحـول الى احمـاض امينيـة اخرى او الى مركبات فسيولوجية هامة فى الجسم .

(١)-التحول الى احماض امينية اخرى

يتحول الفينايل الانين فى الجسم الى التيروزين لاكسدته شكل (٧٠) .

$$H_2N{-}CH(CH_2C_6H_5){-}COOH + O_2 + \text{tetrahydropteridine} \xrightarrow{\text{enzymes}} H_2N{-}CH(CH_2C_6H_4OH){-}COOH + H_2O + \text{oxidized pteridine}$$

فينيل الانين   التيروزين

شكل (٧٠) تحول الفينيل الانين الى التيروزين

يتحول حمض الاسبارتيك بعد نزع مجموعة الكربوكسـيل الهيكليـة الى الفـا-الانـين شكل(٧١).

يتحول الارجنين الى الاورانسين ثم يتحول الاخير الى البرولين او حمض الجلوتـاميك شكل(٧٢).

$$HOOC-CH_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH \xrightarrow[\text{ديكربوكسيليز}]{\beta-\text{اسبارتات}} H_3C-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH + CO_2$$

حامض الاسبارتيك ← α ــ الانين

شكل (٧١) تحول حمض الاسبارتيك الى الفا-الانين

$$\underset{\text{arginine}}{NH_2-C(=NH)-NH-(CH_2)_3-HC(NH_2)-COOH} \xrightarrow{+HOH} \underset{\text{ornithine}}{NH_2-(CH_2)_3-HC(NH_2)-COOH} + \underset{\text{urea}}{NH_2-CO-NH_2}$$

$$\underset{\text{الاورنيثين}}{NH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH(NH_2)-COOH} \xrightarrow[\text{المصاحب للاكسدة} \; (-NH_3)]{\frac{1}{2}O_2 \; \text{نزع مجموعة الامينو}} \underset{\text{نصف الدهيد حامض الجلوتاميك}}{O=C(H)-CH_2-CH_2-CH(NH_2)-COOH}$$

نصف الدهيد حامض الجلوتاميك ← اكسدة ← $COOH-CH_2-CH_2-CH(NH_2)-COOH$ حامض الجلوتاميك

نصف الدهيد حامض الجلوتاميك ← تكوين الحلقة والاختزال ← $H_2C-CH_2-H_2C-N(H)-CH-COOH$ (حلقة) البرولين

شكل (٧٢) تحول الارجنين الى كل من الاورانسين و البرولين وحمض الجلوتاميك

تحول الاحماض الامينية الى مركبات فسيولوجية اخرى

يتحول التيروزين الى هرمون الثيروكسين واشباهه كما فى شكل (٧٣).

L - Tyrosine

3-Monoiodotyrosine (ITyr)

3,5-Diiodotyrosine (I_2Tyr)

Thyroxine (T_4).

شكل (٧٣)
تحول التيروزين الى
الثيروكسين و اشباهه

و نلخص اتصال الاحماض الأمينية بايض الكربوهيدرات و الدهون فى نقاط الألتقاء التالية :

(أ) ينتهى تحول كل من : الميثايونين ، السيرين ، السستيئين ، التربتوفان ، الثريونين ،الجلايسين ، الالانين ، الهيدروكسى برولين ، برولين الى **حمض البيروفيك** .

(ب) ينتهى تحول كل من : الثيريونين ، الايزوليوسين الى **الاسيتيل مرافق الانزيم (أ)**

(ج) ينتهى تحول كل من : الفينيل الانين ، التيروزين ، الليوسين الى حمض **الفويوماريك** فى دورة حمض الستريك

(هـ) ينتهى تحول كل من : الايزوليسين ، الميثايونين ، الثريونين الى حمض البروبايل النشط ثم الى **الصكسونيل النشط** فى دورة حمض الستريك .

(و) ينتهى تحول الفالين الى **الصكسونيل النشط**.

(ز) ينتهى كل من : الهستدين ، البرولين ، الهيدروكسيل برولين ، الارجنين .

الى حمض الجلوتاميك ومنه الى حمض **الفا كيتوجلوتاريك** .

(ح) ينتهى حمض الاسبارتيك الى الاكزالوخليك فى دورة حمض الستريك

الفصل الرابع

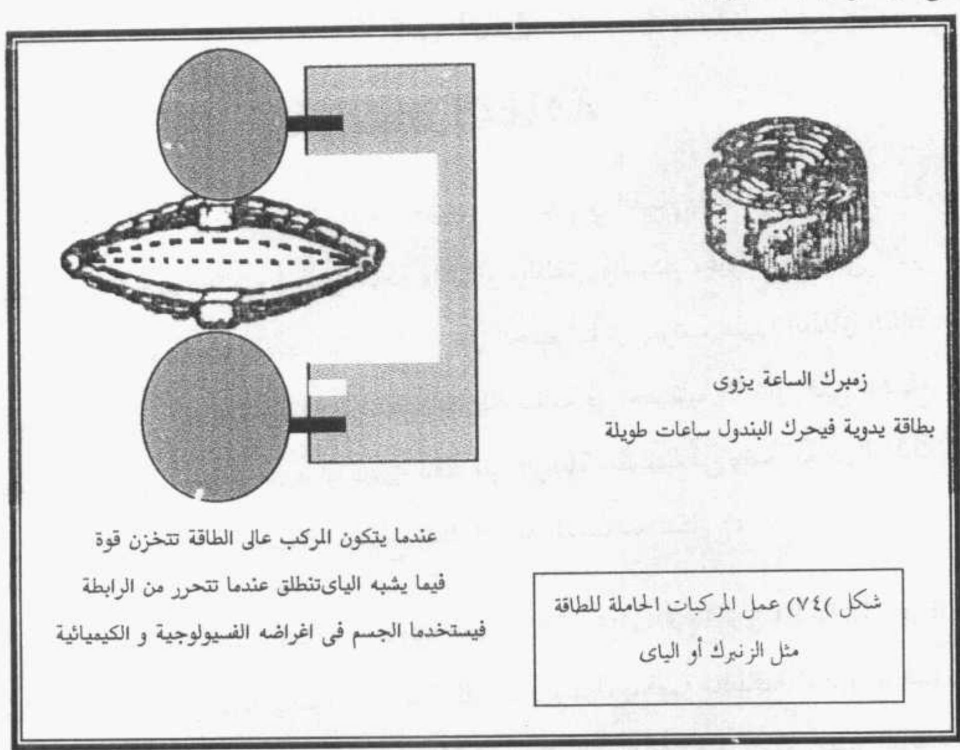
كيمياء الطاقة

لاشك ان الجسم يحتاج الى طاقة حيوية تمكنه من القيام بوظائفه الفسيولوجية المختلفة مثل الهضم و الامتصاص والحركة والتكاثر والتنفس والتفكير وغيرها او بمعنى اخر فإن التفاعلات الكيميائية العديدة التى تتم داخل الجسم اما ان يترتب عليها انطلاق الطاقة او انها تحتاج الى طاقة لاتمامها فما التفاعلات الكيميائية فى حقيقتها الا تغير فى اوضاع الطاقة للذرات بعمل لى او جهد او كبس طاقة على الرابطة لتثبيتها فى وضع معين او فك هذا الربط فتعود الذرة الى طبيعتها وتدفع بتلك الطاقة المحبوسة شكل (٧٤) .

فعندما نشحن لولب الساعة البندولية فنبذل طاقة نخزنها فى قوة لى لولبية تظل هذه الطاقة حبيسة فيه وعندما يتصل طرف هذا اللولب بالبندول يدفعه بالطاقة المخزونة فيه ويعود اللولب الى وضعه الطبيعى وتنتقل طاقة الدفع الى البندول فتتحرك برتم زمنى ثابت وتدور عقارب الساعة وعندما يعود اللولب الى وضعه الطبيعى يكون قد استنفذ كل ما خزن فيه من طاقة فيتوقف البندول وتتوقف عقارب الساعة مالم نسارع بشحن اللولب بطاقة زوى جديدة.

و يوجد بالجسم مركبات كثيرة حاملة للطاقة تختلف مقادير الطاقة المحملة عليها وطبيعة دخولها فى التفاعلات الحيوية المختلفة مثلها مثل الياى الذى يخزن طاقة الدفع

تحت قوة ربط معينة و عندما يتحرر بفك الذرات الرابطة تنطلق الطاقـة المخزنـة لتسـتخدم فى اى غرض يحتاجها.



شكل (٧٤) عمل المركبات الحاملة للطاقة مثل الزنبرك أو الياى

١-الادينوزين ثلاثى الفوسفات ATP

ومن اهم المركبات الحاملة للطاقة مركب الادينوزين ثلاثـى الفوسـفات Adenosine triphosphate ويرمز له بالرمز **ATP** شكل (٧٥)

وهو مركب توجد به رابطتين غنين بالطاقة اعلاهما رابطة الفوسفور الاخيرة ويتحـول الجزئ الى الادينوزين ثنائى الفوسفات Adenosine diphosphate ويرمز له بـالرمز ADP

وتنطلق طاقة مقدارها ٧٣٠٠ سعر حرارى من كل مول وزن جزيئى جرامى من ATP لتتحول الى ADP .

مجموعة نيوكلوسيد (ريبوز – ادنين)
مجموعة ادينوزين

ارتباط الفوسفات او اى مجموعة اخرى يكون على ذرة الكربون رقم ٥ فى الريبوز

ادينوزين احادى الفوسفات(AMP) اوحمض الدينااليك

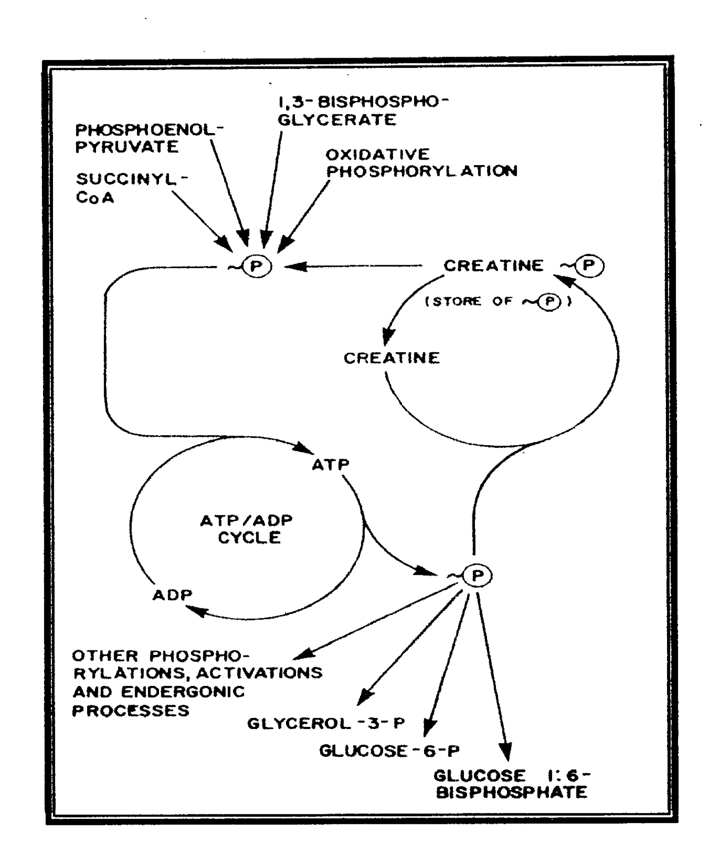
الدينوزين ثنائ الفوسفات (ADP)

ادينوزين ثلاثى الفوسفات (ATP)

شكل (٧٥) صور ال ATP

ويتم تخليق ATP 'ADP من حمض الادينااليك Adenylic acid ثم يدخل ADP'ATP فى دورة بسيطة شكل (٧٦) يتبادل الفوسفور غير العضوى والطاقة تخزينها وانطلاقها.

ومعظم الفوسفور غير العضوى والطاقة التى يتم بها اعادة شحن وتخليق ATP من ADP تتم بواسطة تحول الكرياتين فوسفات الى الكرياتين والعكس ومن هنا كانت اهمية تواجد الكرياتين فى العضلات .



شكل (٧٦) دورة ال ATP

٢- النيوكليتد ثنائي الفوسفات NAD

ويسمى هذا المركب عدة اسماء فيطلق عليه اسم النيوكليتيد ثنائى وثلاثى افوسفات بيريدين diphosphopy ridine nucleatide ويرمز له بالرمز (DPN)او TPN او يسمى نيوكوتياميد ادنين ثنائي وثلاثى النيكوليتيد Nicotinomicel adenin dinucleatiele

ويرمز له بالرمز (NAD) او NADP كما فى الشكل ٧٧ وقد يسمى المركبان ايضا مرافق انزيم I ' II على الترتيب Coenzyme I ،Coenzyme II ويرمز له بالرمز Co.I ، Co.II

diphosphopyridine nucleotide, coenzyme I in which R = H
triphosphopyridine nucleotide, coenzyme II in which R = $PO(OH)_2$

شكل (٧٧) NAD

ويدخل فى تكوين هذا المركب الهام احد فيتامينات B المسمى بالنياسين او حمض النيكوتيك ويعمل كمرافق انزيمى للعديد من النظم الانزيمية التى تنتشر فى جميع انسجة وخلايا الحيوانات ويقوم هذا المركب بالتقاط ذرتى الهيدروجين وهدم المركبات وتكسيرها ثم يدخل هذا المركب فى سلسلة انزيمات التنفس حيث يوصل ذرة الهيدروجين الى الاكسجين او يوصل الاكسجين اليها ويترتب على ذلك انطلاق طاقة تخزين فى جزيئات ATP وعند اكسدة ذرة الهيدروجين المحملة على NAD H_2 تنطلق طاقة تكفى لشحن ثلاثة جزيئات

من ADP الى ATP و تستهلك نصف جزئ من الاكسجين اى عند اكسدة مول هيدروجين محمل على NAD ينطلق ثلاثة مول ATP وتستهلك نصف مول اكسجين وتستخدم ٣ مول فوسفورى وذلك من خلال سلسلة التفاعلات فى سلسلة التنفس الموضحة فى شكل (٧٨) .

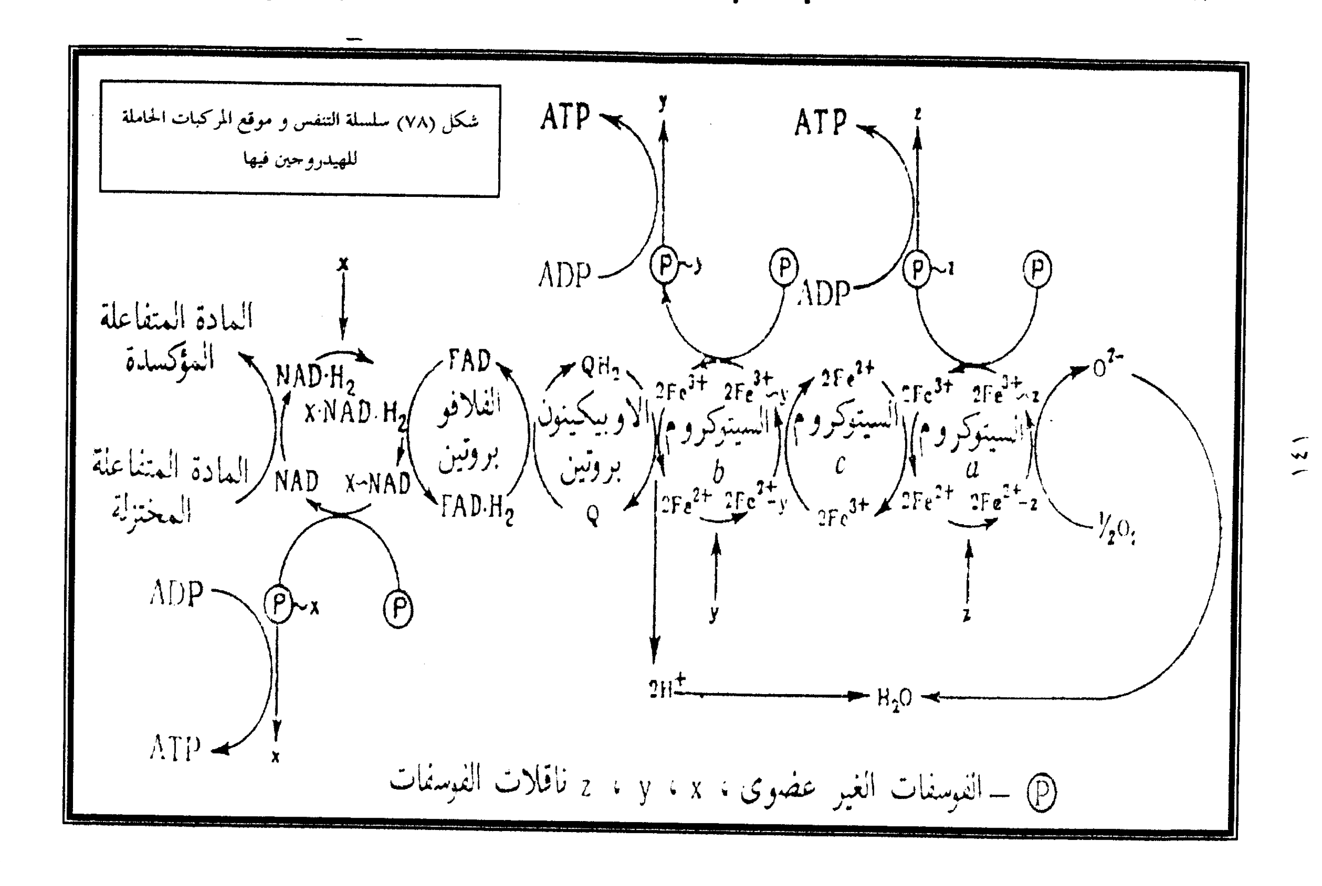
٣- الفلافين ادينين ثنائى النيوكليتيد FAD

وهو كما فى الشكل (٧٩) يحتوى على ريبوفلافين احد فيتامينات مجموعة B (Vit1B2) والفوسفور والادنين ويعتبر مثله NAD leg مركب حامل للهيدروجين ينقله من مكان التفاعل كمرافق انزيمى للنظام الانزيمى الحافز لهذا التفاعل ويوصله او يوصل الاكسجين اليه فى سلسلة التنفس وتنطلق طاقة تحمل على جزيئات ATP عند الاكسدة .

ويكون الفلافوبروتين المختزل ($FAD\text{-}H_2$) بمثابة المصدر الابتداء الاخر لذرات الهيدروجين والالكترونات فى السلسلة التنفسية وتنتج من بعدها فى سلسلة التنفس طاقة تشحن فى جزئين فقط من الATP شكل (٧٨) ونلاحظ ان الفلافوبروتين هو المركب الثانى بعد اكسدة NAD-H2 فى السلسلة.

٤- الجوانوزين ثلاثى الفوسفات (GTP)

وتعمل الجوانوزين ثنائى وثلاثى الفوسفات Guanosine Di-and Triphosphate (GTP'GDP) كمرافق انزيمى وله القدرة على اختزان الطاقة وهى تشبه فى تركيبها الكيماوى الادينوزين ثنائى وثلاثى الفوسفات المعروفة برمز ATP الا ان قاعدة الجوانوزين فى الاولى تحل محل قاعدة الادينوزين فى الاخيرة ، ويقوم انزيم كينيز ثنائى فوسفات



شكل (٧٨) سلسلة التنفس و موقع المركبات الحاملة للهيدروجين فيها

Ⓟ ـ الفوسفات الغير عضوى ، x ، y ، z ناقلات الفوسفات

flavin adenine dinucleotide, FAD

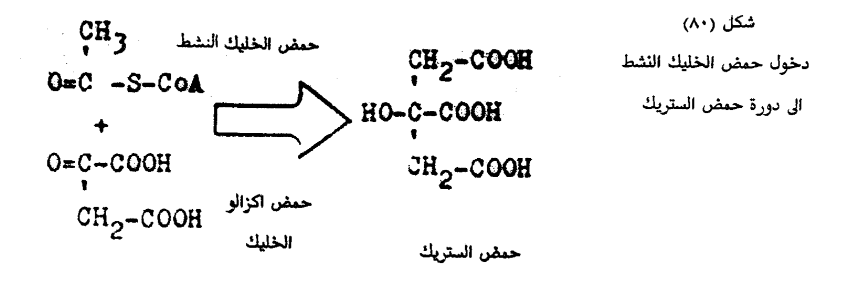
شكل (٧٩) الفلافوبروتين FAD

لنيوكلوسـيد بتحويـل GTP الى GDP وتحويـل طاقتـها الى جـزئ واحــد مــن ADP وتحويله الى ATP

دورة حمض الستريك

تبدا دورة حمض الستريك بتكثيف حمض الخليك النشط acely- CoA مع حمض اكزالو الخليك الذى يوجد بصفة مستديمة فى الخلية وينتج عن ذلك تكوين حمض الستريك وانطلاق مرافق الانزيم (أ) حرا شكل (٨٠).

وتبدا بمجرد تكون حمض الستريك دورة خاصة من التفـاعلات الكيميائيـة تـؤدى الى اكسدة هذا الحمض تدريجيا الى حمض اكزالو الخليك الذى يتكثف من جديـد مـع حمـض خليك نشط اخر مرة اخرى وينتج حمض الستريك وهكذا .



شكل (٨٠)
دخول حمض الخليك النشط
الى دورة حمض الستريك

وتنتج عن تكسر حمض الستريك الى الاكزالوخليك خروج ثانى اكسيد الكربون والماء وقد تسمى هذه الدورة بدورة الاحماض الثلاثية والثنائية الكربوكسيل وعلى ذلك تتم اكسدة حمض البيروتيك او الخليك النشط الى ثانى اكسيد الكربون والماء .

ودورة حمض الستريك هى سلسلة من التفاعلات الانزيمية بين عشرة احماض عضوية يكون الاربعة الاولى منها ثلاثية الكربوكسيل هى بالترتيب :

حمض الستريك : حمض الساكونيك ، شبيه الستريك ، الاكزالوصكسونيك شكل (٨١) والستة التالية ثنائية الكربوكسيل وهى :

الفا كيتوجلوتاريك، الصكسونيك النشط ، الصكسونيك ، الفيوماريك ، الماليك، الاكزالوخليك شكل (٨١).

وتتعرض المركبات التى تدخل فى دورة الاحماض الثلاثية والثنائية الكربوكسيل الى اربعة تفاعلات لنزع الهيدروجين وتفاعلان لنزع مجموعة الكربوكسيل كما تنتشر فى هذه الدورة ايضا تفاعلات نزع واضافة الماء شكل (٨٢).

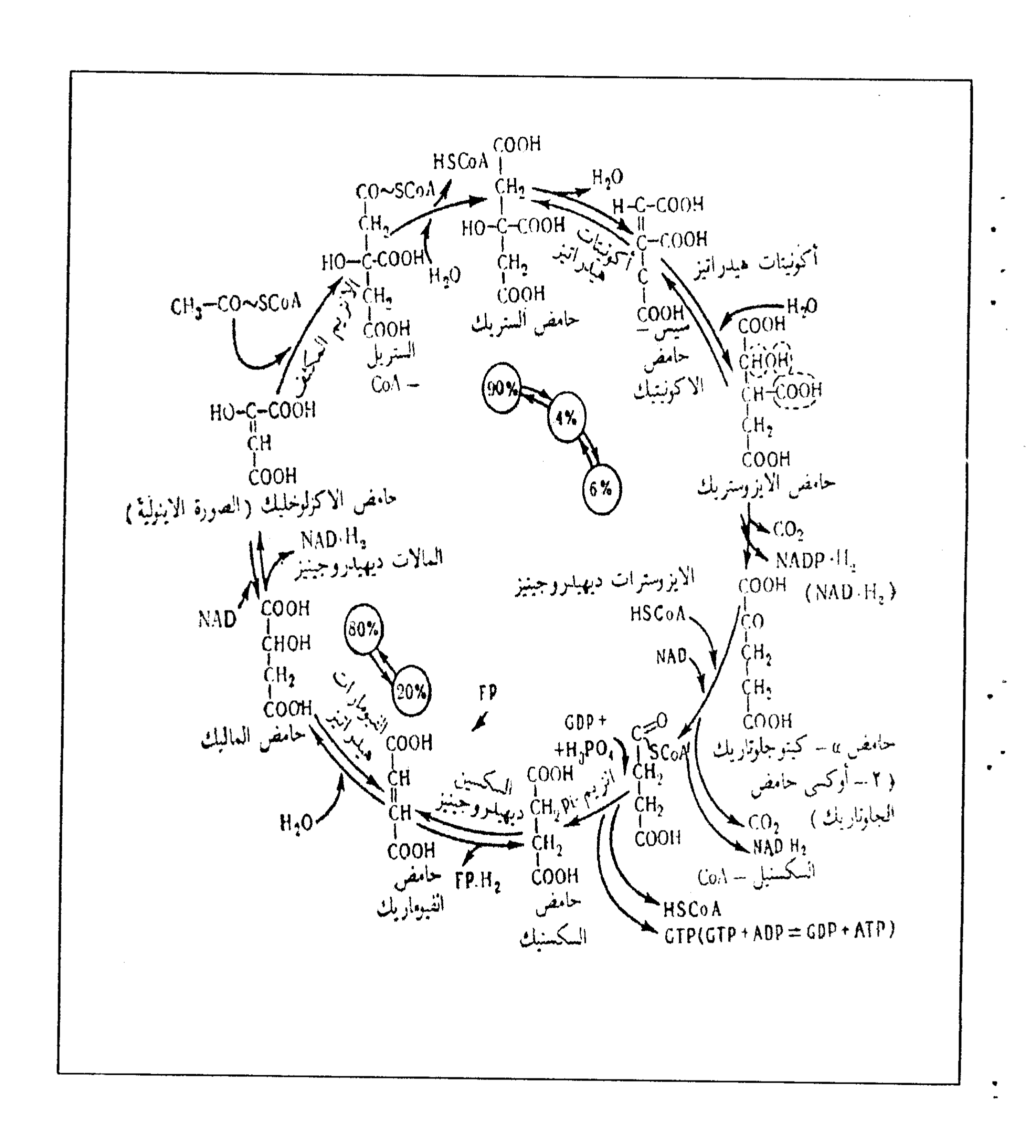
CH_2-COOH | $HO-C-COOH$ | CH_2-COOH	CH_2-COOH | $C-COOH$ ‖ $CH-COOH$	CH_2-COOH | $CH-COOH$ | $HO-CH-COOH$	CH_2-COOH | $CH-COOH$ | $O=C-COOH$
Citric acid **الستريك**	**cis-aconitic acid** **سس اكيونيك**	**iso-citric acid** **شبيه الستريك**	**oxalosuccinic acid** **اكزالو صكسونيك**

احماض دورة حمض الستريك ثلاثية الهيدروكسيل

CH_2-COOH | CH_2 | $O=C-COOH$	CH_2-COOH | CH_2 | $O=C - S-CoA$	CH_2-COOH | CH_2-COOH
α-keto glutaric acid الفا-كيتوجلوتاريك	succinic-Co-A الصكسونيك النشط	succinic acid الصكسونيك

$H-C-COOH$ ‖ $HOOC-C-H$	$HO-CH-COOH$ | CH_2-COOH	$O=C-COOH$ | CH_2-COOH
Fumaric acid حمض الفيوماريك	Malic acid حمض الماليك	Oxaloacetic acid حمض اكزالوالخليك

شكل (٨١) احماض دورة حمض الستريك العشرة



شكل (٨٢) دورة حمض الستريك

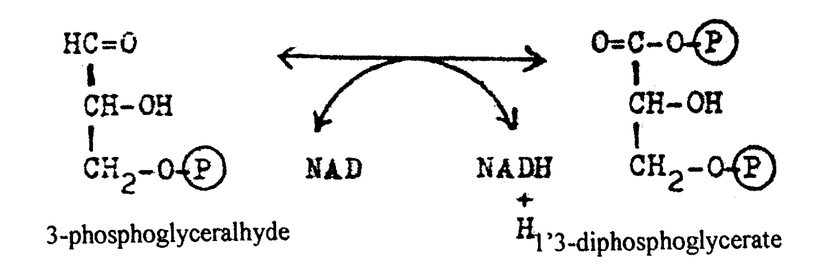
وتنتج الطاقة من خلال ثلاثة عمليات اساسية فى هدم المركبات العضوية بالجسم .

اولا : من خلال هدم الجلوكوز الى حمض الخليك النشط

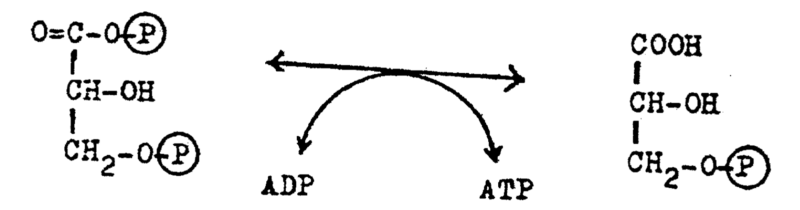
(١) اثناء التحول من ٣- فوسفات جلسرالدهيد الى ١،٣ ثنائى فوسفو جلسرات ينتج مركب NADH محمل بالهيدروجين يعطى طاقة عند اكسدته لتخليق ٣ جزيئـات ATP شكل (٨٣)

(٢) اثنـاء التحـول الى ١،٣ ثنـائى فوسفوجلسـرات الى ٣- فوسفوجلسـرات وينتـج جزئ ATP شكل (٨٤).

(٣) اثناء التحول من فوسفواينول بيروفيك الى حمض البيروفيك ينتج جزئ ATP شكل (٨٥) .

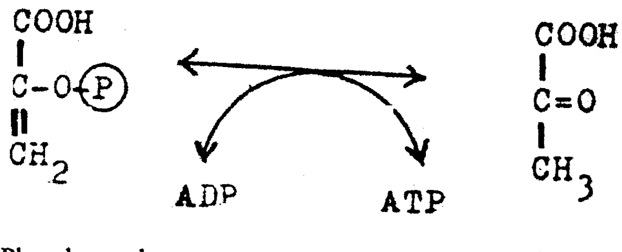


شكل (٨٣) تحول ٣- فوسفوفات جلسرالدهيد الى ١،٣ ثنائى فوسفوجلسرات وخروج ذرتى هيدروجين تحمل على NAD



1'3-diphosphoglycerate 3-phosphoglycerate

شكل (٨٤) تحول ١،٣- ثنائى فوسفات الجلسرات الى ٣- فوسفوجلسرات و انطلاق طاقة فى جزئ ATP



Phospho-enol Pyruvic acid Pyruvic acid

شكل (٨٥) تحول فوسفو اينول حمض البيروفيك الى حمض البيروفيك وخروج طاقةفى جزئ ATP

٤ - عند تحول حمض البيروفيك الى الخليك النشط شكل (٨٦) ينطلق ثانى اكسيد الكربون وذرتين هيدروجين تحملان على جزئ AND.

ثانيا: من خلال هدم الحمض الدهنى الى الخليك النشط

١- عند اكسدة الاكيل النشط عند ذرة الكربون بيتا بعمل رابطة زوجية وخروج ذرتى هيدروجين تحمل على جزئ FAD الذى يعطى عند اكسدته ٢ ATP شكل (٨٧).

$$CH_3 - CO - COOH + NAD + HSCoA \xrightarrow[\text{حامض البيروفيك}]{\text{ديهيدروجينيز}}$$

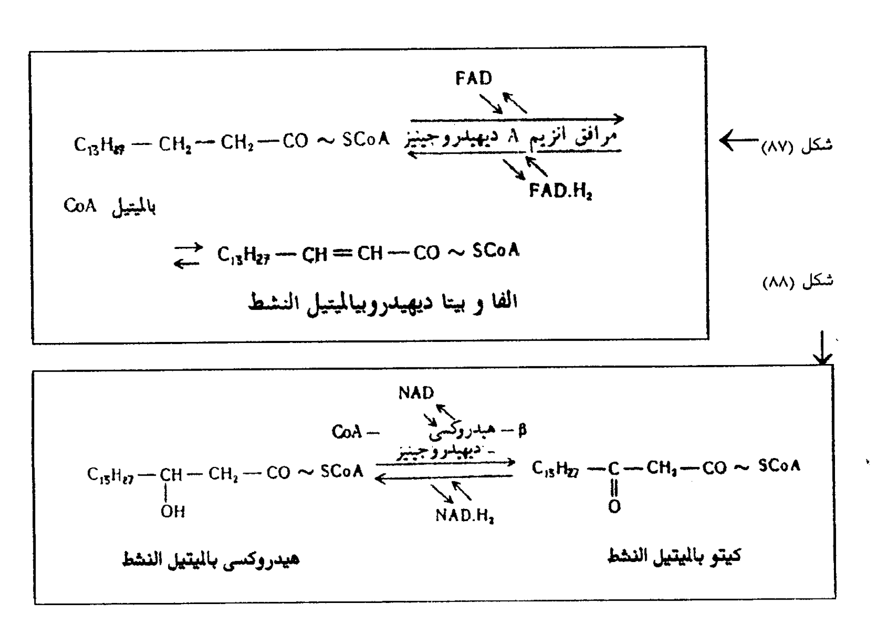
حامض البيروفيك مرافق انزيم A

$$\longrightarrow CO_2 + CH_3 - CO \sim SCoA + NAD \cdot H_2$$

حمض الخليك النشط

شكل (٨٦) تحول حمض البيروفيك الى الخليك النشط

٢- عند اكسدة مجموعة الهيدروكسيل فى الوضع بيتا الى مجموعة كيتون ينطلق ذرتين هيدروجين يحملان على جزئ NAD لاذى يعطى عند اكسدته بالاكسجين التنفس ٣ جزيئات ATP شكل (٨٨).



ثالثا : من خلال دورة حمض الستريك

١-عند تحول كل من حمض شبيه الستريك الى اكزالوصكسونيك شكل (٨٩)

وحمض الفا كيتو جلوتاريك الى حمض الصكسونيك النشط شكل (٩٠)

وحمض الماليك الى حمض الاكزالواخليك شكل (٩١)

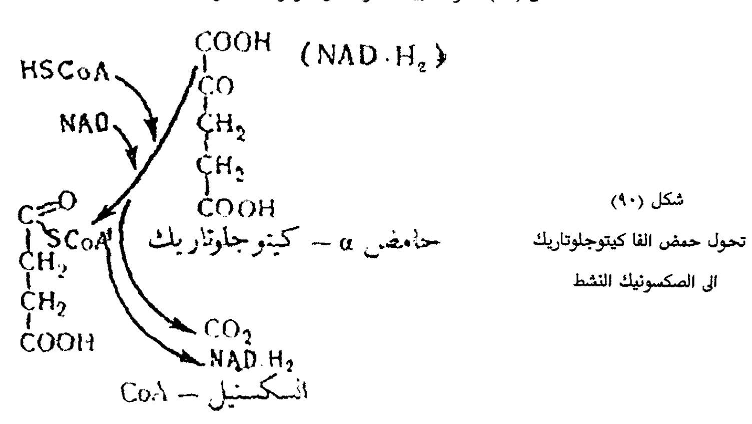
تنطلق ذرتين هيدروجين من كل تفاعل تحمل علـى جـزئ NAD الـذى يعطـى عنـد اكسدته فى سلسلة التنفس ثلاثة جزيئات من ATP فى كل مرة

$$\begin{array}{l} HO-\overset{2}{C}H-\overset{1}{C}OOH \\ \quad\ \ \overset{3}{H}C-\overset{6}{C}OOH \\ \quad\ \ \overset{4}{C}H_2-\overset{5}{C}OOH \end{array} \underset{+2H}{\overset{-2H}{\rightleftharpoons}} \begin{array}{l} \overset{2}{C}O-\overset{1}{C}OOH \\ H\overset{3}{C}-\overset{6}{C}OOH \\ \overset{4}{C}H_2-\overset{5}{C}OOH \end{array}$$

Isocitric dehydrogenase

D – Isocitric   Oxalosuccinic

شكل (٨٩) تحول شبيه الستريك الى اكزالو الصكسونيك



شكل (٩٠)

تحول حمض الفا كيتوجلوتاريك

الى الصكسونيك النشط

$$\underset{\text{L-malic acid}}{HO{-}CH(COOH){-}CH_2{-}COOH} + DPN^+ \rightleftharpoons \underset{\text{oxaloacetic acid}}{COOH{-}CH_2{-}CO{-}COOH} + DPNH + H^+$$

شكل (٩١)
تحول حمض الماليك
الى اكزالو الخليك

٢- عند تحول حمض الصكسونيك الى الفيوماريك تنتج ذرتى الهيدروجين تحمل على جزئ FAD الذى يعطى عند اكسدته فى سلسلة التنفس جزئين ATP شكل (٩٢) .

٢-تحول حمض الصكسونيك النشط الى الصكسونيك ويتكون نتيجة التفـاعل جـزئ GTP الذى يعطى طاقة لتخليق جزئ ATP شكل ٩٣.

$$\underset{\text{succinic acid}}{CH_2{-}COOH \mid CH_2{-}COOH} + \underset{\text{succinic dehydrogenase}}{FP} \rightleftharpoons \underset{\text{fumaric acid}}{H{-}C{-}COOH \parallel HOOC{-}C{-}H} + FPH_2$$

شكل (٩٢) تحول حمض الصكسونيك الى الفيوماريك

$$\underset{\text{succinyl CoA}}{CO{-}S{-}CoA \mid CH_2 \mid CH_2 \mid COOH} + \underset{\text{guanosine-diphosphate}}{GDP} + Pi \xrightarrow[\text{thiokinase}]{\text{succinic}} \underset{\text{succinic acid}}{COOH \mid CH_2 \mid CH_2 \mid COOH} + \underset{\text{guanosine triphosphate}}{GTP} + \underset{\text{CoA}}{HS{-}CoA}$$

شكل (٩٣) تحول حمض الصكسونيك النشط الى الصكسونيك

مآل هدم الجلوكوز

يحتـوى الجلوكـوز علـى ٦ ذرات كربـون و٦ ذرات اكســجين و١٢ ذرة هيدروجـــين ويحتوى على طاقة كلية عند حرقه فى الاكسـجين فـى جـو الغرفـة مقدارهـا ٦٨٦,٥ سـعر حرارى كبير.

$$C_6 H_{12} O_6 + 6 O_2 \Rightarrow 6 CO_2 + 6 OH_2 + 686.5 \text{ cal.}$$

هذا عندما يتم حرق الجلوكوز فى جو الحجرة لكن اين وكيف يتم ذلك فـى الجسـم الحى !؟

نلخص ماسبق ان شرحناه من المعلومات حول انتـاج الطاقـة وهـدم الجلوكـوز شـكل (٩٤) على النحو التالى :

عندمـا انقسـم الجلوكـوز الى نصفـين كـل نصـف منـــه انتــهى الى جـــزئ مـــن (٣- فوسفوجليسرالدهيد) ثم هدم كلا منهما الى ثانى اكسيد الكربون والماء والطاقة .

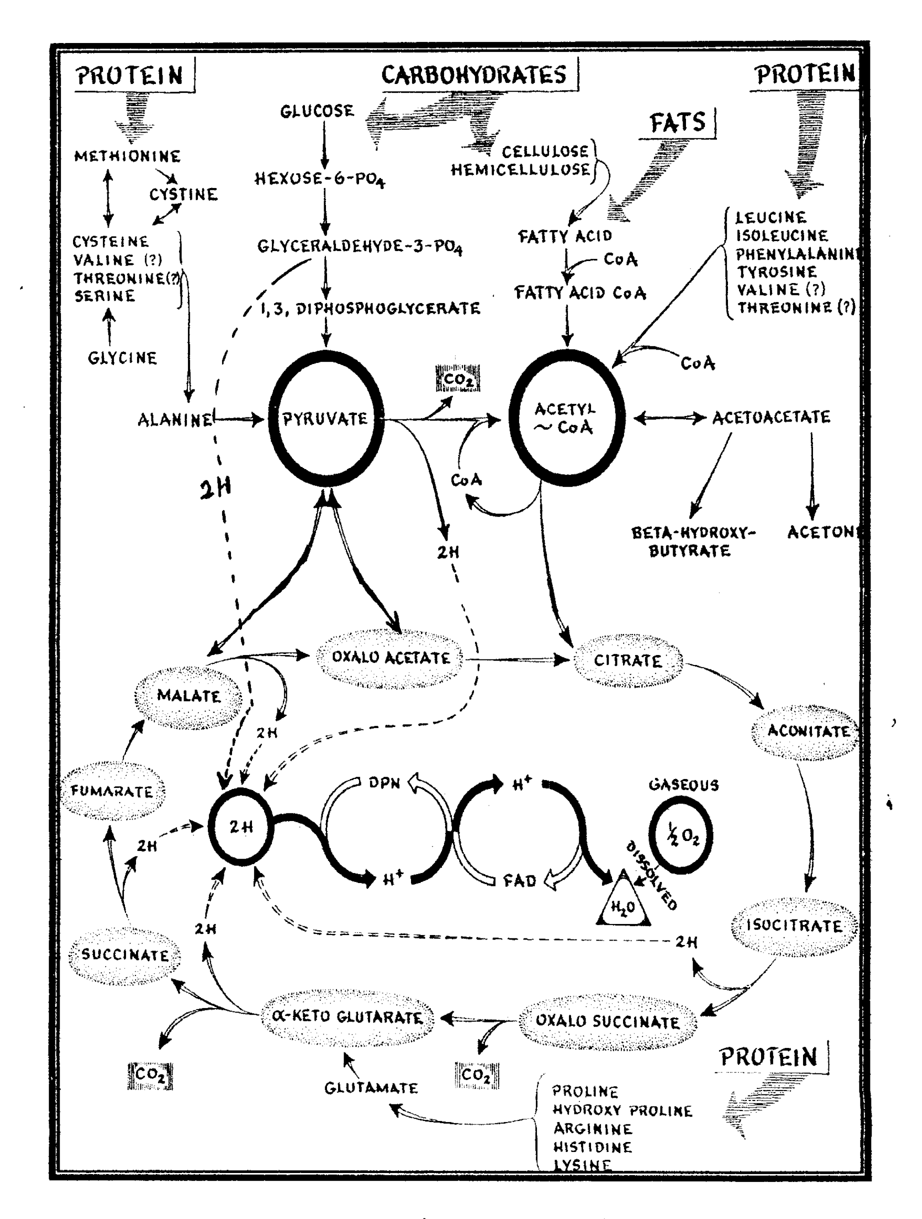
اولاً: انطلاق ثانى اكسيد الكربون

٢ × ١ جزئ عند نزع مجموعة الكربوكسيل من البيروفيك وتحويله الى الخليك النشط شكل (٨٩)

٢ × ١ جزئ عند تحويل شبيه الصكسونيك الى الفا كيتوجلوتاريك شكل (٩٥)

٢ × ١ جزئ عند نزع مجموعة الكربوكسيل من الفا كيتوجلوتاريك شكل (٩٠)

المجموع ٢ × ٣ = ٦ جزيئات .



شكل (٩٤) رسم تخطيطى لأيض العناصر الغذائية

$$\begin{array}{l} \overset{2}{C}O-\overset{1}{C}OOH \\ \overset{3}{H}\overset{}{C}-\overset{6}{C}OOH \\ \overset{4}{C}H_2-\overset{5}{C}OOH \end{array} \quad \underset{+CO_2}{\overset{\text{Carboxylase} \quad -\overset{6}{C}O_2}{\rightleftharpoons}} \quad \begin{array}{l} \overset{2}{C}O-\overset{1}{C}OOH \\ \overset{3}{C}H_2 \\ \overset{4}{C}H_2-\overset{5}{C}OOH \end{array}$$

Oxalosuccinic — α – Ketoglutaric

شكل (٩٤)
تحول اكزالوالصكسونيك
الى الفا كيتو جلوتاريك

ثانيا : انطلاق الماء

تتكون جزيئات الماء نتيجة اكسدة ذرات الهيدروجين المنزوعة من مركبات الهدم الديختومى ودورة حمض الستريك الاثنى عشر على النحو التالى :

٢ × ٢ ذرة عند تحول ٣-فوسفوجلسرالدهيد الى ١، ٣ جليسرات ثنائى الفوسفات

٢ × ٢ ذرة عند تحول البيروفيك الى الخليك النشط

٢ × ٢ ذرة عند تحول شبيه الستريك الى اكزالوصكسونيك

٢ × ٢ ذرة عند تحول الفا كيتوجلوتاريك الى الصكسونيك

٢ × ٢ ذرة عند تحول الصكسونيك الى الفيوماريك

٢ × ٢ ذرة عند تحول الماليك الى اكزالوالخليك

المجموع = ٢ × ١٢ = ٢٤ ذرة هيدروجين

$$C_6H_{12}O_6 + 6OH_2 \Rightarrow 6CO_2 + 12H_2$$

وعند اكسدة ال(٢٤) ذرة هيدروجين الناتجة من الهدم بواسطة الاكسجين فى سلسلة التنفس ينتج ١٢ جزئ ماء

$$12H_2 + 6\ O_2 \Rightarrow 12\ OH_2$$

وبالتالى تكون محصلة المعادلتين

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \Rightarrow 6\ CO_2 + 6\ OH_2$$

ثالثا : انطلاق الطاقة

٢ جزئ ٣-فوسفوجلسرالدهيد من كل جزئ جلوكوز يعطى

٢(٥ جزئ NAD × ٣ جزئ ATP) = ٢ × ١٥ = ٣٠

٢(١ جزئ FAD × ٢ جزئ ATP) = ٢ × ٢ = ٤

٢ (٣ جزئ ATP) = ٢ × ٣ = ٦

يستهلك ٢جزئ ATP عند تكوين جلوكوز-٦-فوسفات

وعند تكوين فركتوز ١، ٦ ثنائى الفوسفات = -٢

جملة صافى الطاقة الناتجة عن الجلوكوز = ٣٨ جزئ ATP

كفاءة الاستفادة من الطاقة بالجسم

عند حساب المركبات السابق ذكرها على اساس الاوزان الجزيئية (المول) اذن

ينتج ١ مول من الجلوكوز ٣٨ مول من **ATP**

وحيث ان المول من ATP يعطى ٧,٣ سعر حرارى كبير

اذن ١ مول من الجلوكوز يعطى ٣٨ × ٧,٣= ٢٧٧,٤ سعر حرارى كبير عند حرقه داخل الجسم وقد سبق ان علمنا ان المول من الجلوكوز يعطى ٦٨٦,٥ سعر حرارى

كبير عند حرقه فى الجو العادى خارج الجسم اذن تتسرب كمية من الحـرارة قدرهـا ٤٠٩,١ سعر حرارى كبير ولا تشحن فى جزيئات ATP وبذلك تكون كفاءة الاسـتفادة مـن الطاقة فى الجسم (٢٧٧,٤ ÷ ٦٨٦,٥) × ١٠٠ = ٤٠,٤ ٪

وهذه اعلى كفاءة لاستخدام الطاقة اذا علمنا ان كفاءة استخدام الطاقة من البنزين فى السيارة مثلا لايزيد عن ١٠٪ .

مآل هدم الاحماض الدهنية

يحتـوى جـزئ حمـض البـالتيك علـى ١٦ ذرة كربـون ٣٢ ذرة هيدروجـين وذرتـى اكسجين وعند اكسدته اكسدة تامة فى الهواء يعطى ١٦ جـزئ ثـانى اكسـيد الكربـون و١٦ جزئ ماء مستهلكا ٤٦ ذرة اكسجين وعند اكســدته فـى الجسـم فـى الوضـع بيتـا ينتـج ٨ جزيئات من حمض الخليك النشـط مـن خـلال ٧ عمليـات هـدم كمـا سـبق توضيحـه فـى شكل (٤٠) .

$$C_{16} H_{32} O_2 + 6\ OH_2 + 8\ Co.A\text{-}SH \Rightarrow 8\ CH_3\text{-}CO\text{-}Co.A + 28\ H$$

وتحمل ذرات الهيدروجين الناتجة على سـبعة جزيئـات NED وسـبعة جزيئـات FAD وتستهلك طاقة جزئ ATP .

وعند دخول كل جزئ من احماض الخليك الثمانية الى دورة حمض الستريك تؤكسـد فينطلق منها :

٨ × ٢ جزئ ثانى اكسيد الكربون = $16\ CO_2$

٨ × ٨ ذرة هيدروجين = $64\ H$

٨ × ٣ جزئ NAD H = $24\ NAD\ H$

٨ × ١ جزئ FAD = 8 FAD

٨ × ١ جزئ GTP = 8 GTP

ويحتاج جزئ حمض البالمتيك الدهنى الى:

٦ ذرات اكسجين من ٦ جزيئات ماء عند الاكسدة فى الوضع بيتا

و (٨ × ٣) ذرة اكسجين من (٨ × ٣) جزئ ماء فى دورة حمض الستريك .

وتكون جملة نواتج هدم حمض البالمتيك على النحو التالى :

الهيدروجين ٢٨ ذرة عند الاكسدة فى الوضع بيتا .

٦٤ ذرة عند اكسدة حمض الخليك النشط فى دورة حمض الستريك

٩٢ المجموع

وتدخل هذه الذرات ال (٩٢) فى سلسلة التنفس فتحتاج الى ٤٦ ذرة اكسجين لاكسدتها الى ٤٦ جزئ ماء ، فإذا طرحنا منها ٣٠ جزئ ماء دخلت التفاعل يكون الناتج الفعلى ١٦ جزئ وبالتالى يكون نتيجة هدم جزئ البالمتيك .

١٦ جزئ ثانى اكسيد الكربون ، ١٦ جزئ ماء ، ويستهلك ٤٦ ذرة اكسجين .

$$C_{16}H_{32}O_2 + 30\ OH_2 \rightarrow 16\ CO_2 + 92\ H$$

$$92\ H + 46\ O \rightarrow 46\ OH_2$$

$$C_{16}H_{32}O_2 + 46\ O \rightarrow 16\ CO_2 + 16\ OH_2$$

وتحمل ال(٩٢) ذرة هيدروجين على المركبات الحاملة للهيدروجين التالية لتوصيلها الى سلسلة التنفس فى الميتوكوندريا ومن ثم تخزين طاقتها بعد اكسدتها بالاكسجين على جزيئات الATP .

ATP ٩٣ = ٣ × NAD ٣١ = (٣ × ٨) + ٧

ATP ٣٠ = ٢ × FAD ١٥ = (١ × ٨) + ٧

ATP ٨ = ١ × GTP ٨ = (١ × ٨) + ٠

بطرح جزئ ATP استهلك فى تنشيط الحمض الدهنى

عند بداية التفاعل = - ١ ATP

المجموع الصافى = ١٣٠ ATP

وهكذا نصل الى نفس المعادلة الخاصة بهدم الباليتيك فى الهواء الجوى الا ان الطاقة الناتجة فى الجسم يستفاد منها بما يعطى ١٣٠ جزئ ATP يحمل كل جزئ منها ٧,٣ سعر حرارى كبير فيكون مقدار الطاقة المستفادة ١٣٠ × ٧,٣ = ٩٤٩ سعر حرارى كبير .

وحيث ان حمض الباليتيك يحتوى على طاقة كلية عن حرقه فى الهواء مقدارها ٢٣٤٠ سعر حرارى كبير فتكون كفاءة الاستفادة من طاقته

= (٩٤٩ ÷ ٢٣٤٠) × ١٠٠ = ٤٠,٥ ٪

وهى تقريبا نفس كفاءة الاستفادة من طاقة الجلوكوز

الا ان كمية الطاقة المستفادة من وحدة الوزن تختلف بين الكربوهيدرات والدهون .

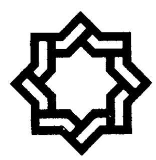
فقد علمنا ان مول من الجلوكوز يعطى طاقة مستفادة مقدارها ٢٧٧,٤ سعر حرارى كبير ، وحيث ان مقدار المول من الجلوكوز (الوزن الجزيئى الجرامى) = ١٨٠ جرام

اذن الجرام الواحد من الجلوكوز يعطى طاقة مقدارها

٢٧٧,٤ ÷ ١٨٠ = ١,٥٤ سعرا حراريا كبيرا

اما الحمض الدهنى الباليتيك فيعطى المول منه طاقـة مسـتفادة مقدارهـا ٩٤٩ سـعر حرارى كبيرا و مقدار المول منه ٢٨٠ جرام ، اذن الجرام الواحد من الباليتيك يعطى طاقة مقدارها ٩٤٩ ÷ ٢٨٠ = ٣,٣٩ سعرا كبيرا

معنى ذلك ان وحدة الوزن مـن الأحمـاض الدهنيـة تعطـى ٢.٢ ضعـف الطاقـة التـى تعطيها وحدة الوزن من الجلوكوز.



الفصـــــل الخامس

العنـــــاصر المعـــــدنية
MINERALS

العلاقة بين العناصر المعدنية بعضها ببعض ووظائفها العامة .

الوظائف العامة للعناصر المعدنية :

أ- تدخل فى تركيب وبناء الهيكل العظمى وقشرة البيضة

ب- تنظم الضغط الاسموزى فى الجسم وتنظم الأيون الأيدروجينى

ج- تعمل كعوامل مساعد فى بعض التفاعلات الانزيمية

د- تعمل كمكون لبعض الانزيمات والفيتامينات والهرمونات.والبروتينـات والدهون

هـــ- ضرورية لحركة العضلات والنبضات العصبية وتجلط الدم

ويمكن ايجاز بعض ادوار العناصر المعدنية فى فســـــيولوجيا الدواجـــن فيمايلى:

١- يكون الكالسيوم والفوسفور العظام وقشرة البيضة ، وذلك بجــــانب كونهما يوجدان فى سوائل الجسم والدم وصفار البيضة ، فمثلا يتكون الهيكـــل العظمى اساسا من فوسفات الكالسيوم ، وقشـــرة البيضـــة مـــن كربونـــات

الكالسيوم

٢- الكالسيوم والماغنسيوم ضروريات لاداء وظيفة الخلايـــا العصبيـــة ، ويؤثر كل منهما فى امتصاص الاخر

٣- الحديد والنحاس والكوبلت مع فيتامين ب١٢ هامان لتكوين الدم

٤- اليود يدخل فى تركيب هرمون الثيروكسين

٥- الزنك يدخل مع الموليبدنيوم والمنجنيز كجزء من بعض الانزيمات

٦- يرتبط الماغنسيوم بالتمثيل الغذائى للكالسيوم كمـــا انــه ضـــرورى لصحة العظام والعضلات والاعصاب

٧- الصوديوم والبوتاسيوم والكلور عناصر هامة لسوائل الجسم وانسجته الناعمة كما الها تساعد على موازنة الحموضة القلوية بالجسم .

٨- يعتبر ملح الطعام من المواد الهامة لفتح شهية الطيور ، وهو ضـــرورى لاداء الكثير من الوظائف الحيوية مثل عمل العضلات ، ووظيفة الرئة ، ونمـــو العظام ،وانسجام وظائف العين ، وترسيب الدهن .

٩- البوتاسيوم ضرورى لسلامة الكلية والقلب .

١٠- ملح الطعام ضرورى لعملية الهضم والتنفس

١١- الكبريت جزء من بعض الانزيمات والاحماض الامينية ، ويدخــل فى

١٢- ترتبط دورة التمثيل لكل من النيتروجين والكربون مع الكبريت

١٣- يكون الحديد جزء من جزيئ الهيموجلبين فى الدم

١٤- النحاس ضرورى لوظيفة انزيمات الاكسدة مثل الانزيمات اليوريز ، والتريسانيز واكسدة حمض الاسكوبيك .

١٥- يحتوى كل من الكبد والقلب والكلية ونخاع العظام والطحال ، والشعر والمخ على كمية من النحاس

١٦- النحاس مهم لاستفادة الجسم من الحديد فى الهيموجلوبين .

١٧- يؤثر كل من المنجنيز من ناحية والكالسيوم والفسفور من ناحية اخرى كل منهما فى الاخر فى عمليات امتصاصهما من القناة الهضمية .

١٨- يشترك المنجنيز مع كل من الكولين ، والنياسين ، والريبوفلافين وحمض الفوليك ، فى الوقاية من مرض انزلاق الاربطة .

١٩- للكوبلت دور هام فى تكوين الهيموجلوبين وكرات الدم الحمراء وهو يدخل فى تركيب فيتامين ب١٢

٢٠- لكل من الكوبلت والمنجنيز والزنك دور هام فى نمو الكتاكيت .

٢١- يلعب الزنك دوراً هاماً فى توازن الحموضة والقلوية وتسهيل

تكوين حمض الكربونيك فى الدم ، وكذلك تكسيره وانطلاق ثـــانى اكســيد الكربون فى الرئة .

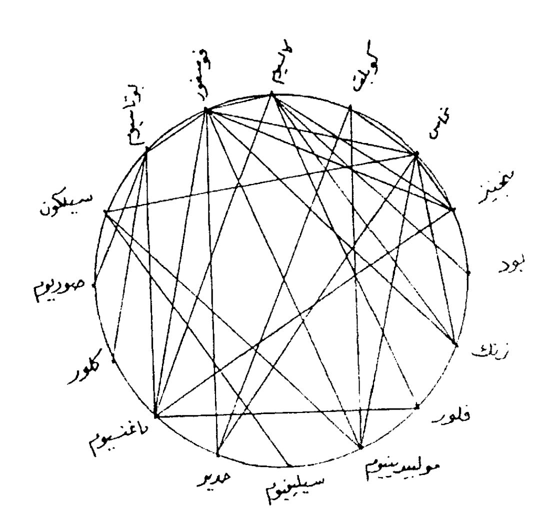
٢٢- المولبيدنيوم له دور فى تفاعل انزيم الاكزانسيين اوكسيديز والـــذى يحول البيرميدين الى حمض البوليك ليخرج فى البول فى الدواجن ، ومع ذلـــك فزيادة المولبيدنيوم فى الدواجن سامة .

٢٣- يدخل السيلينيوم مع بعض البروتينات الحيوانيـــة مكونـــا ســيلينو الاحماض الامينية التى تتكون من اختزال املاح السيلينات وهـــى تلعـــب دوراً هاماً فى نشاط بعض الانزيمات الخاصة بنزع مجموعة الكربوكســيل ، وتعمـــل مركبات السيلينيوم كمادة حاملة لفيتامين (هـــ) ، وتؤثر فى امتصاصه وتمثيلـــه كما ان بعضها يعتبر مادة مانعة للاكسدة .

٢٤- يدخل السيلينيوم ومركباته فى انتاج المركبات الحيويـــة التاليـــة : Selenate, Selenocysteic acid , Selenic acid.

٢٥- للسيلينيوم وظائف اخرى منها ، انها تمنع مرض انهيار العضـــلات Musche abnormalities ومرض تفتـــت القونصـــة فى الرومـــى Gizzard erosion.

ويوضح شكل (٩٥) علاقة العناصر المعدنية بعضها ببعض .



شكل ٣-١
علاقة العناصر المعدنية بعضها ببعض

امتصاص العناصر المعدنية :

درس الباحثون مايتعلق بامتصاص المواد المعدنية ، وتوصلوا الى ان هنـــاك مركبات عضوية تعرف باسم Organiic chelates(راجع الفصـــــل الثـــانى والعشرون) هى التى تتحكم الى حد كبير فى امتصاص المواد المعدنية وتنقســـم هذه المركبات العضوية من حيث قابليتها الى تحرير العنصر المعـــدنى الى ثلاثـــة اقسام .

(أ) : مركبات محكمة التركيب :

وهى التى يصعب تفكيكها وبذلك فان العنصر المعدنى الداخل فى تركيبها غالبا ما يكون غير ذى مفعول غذائى رغم وجوده فى رماد المادة الغذائية ومن امثلتها : حمض الفتيك والذى يكون مركبا معقدا مع الفوسفور وبذلك يصعب على الطائر الاستفادة منه الا اذا عوملت المادة الغذائية المحتوية عليه بواسطة انزيم الفيتيز ، الذى يمكنه تحليل هذا المركب المعقد لتحرير الفوسفور منه كما يحدث بواسطة الميكروبات الموجودة فى كرش الحيوانات المجترة .

(ب) مركبات ضعيفة التركيب :

وهى التى يسهل تفكيكها وبذلك يمكن الاستفادة الكاملة من العناصر المعدنية الداخلة فى تركيبها ، وهذه المركبيات مهمة جدا من الناحية الغذائية بالنسبة للمواد المعدنية فى الغذاء اذ الها احيانا تحمى العنصر المعدنى الداخل مع الغذاء المأكول من ان يتحول الى مركب معقد يصعب هضمه وامتصاصه ومن الامثلة هذه المجموعة : المركبات التى تتكون من ارتباط الاحماض الامينية والعناصر المعدنية .

ج - مركبات يدخل العنصر فى تركيبها البنائى :

وتمتص كما هى يؤدى العنصر وظيفته من خلال المركب الداخل فيه ، مثل الكوبلت فى فيتامين ب١٢ ، والكبريت فى الميثايونين .

وفيما يلى دراسة كل عنصر معدنى على حدة ...

الكالسيوم

التمثيل الغذائى للكالسيوم :

اولا الامتصاص :

يتم امتصاص الكالسيوم فى القناة الهضمية جزئيا من المعدة (بنسبة قليلة جدا) واساسا من الامعاء الدقيقة وفى دراسة بالكالسيوم المشع اتضح ان امتصاص الكالسيوم من خلال الغشاء المخاطى يحدث بعكس تدرج تركيزه ، مما يدل على انه يتم بالنقل النشط ، وتبين ايضا ان امتصاص الكالسيوم يكون فى الاثنى عشر والصائم اكثر منه فى الاجزاء السفلية من الامعاء الدقيقة ، وان نظام النقل النشط يعلل بانه ضرورة تقابل الاحتياجات العالية من الكالسيوم للاعضاء ، ما يزيد من كفاءة امتصاص الكالسيوم فى حالة ارتفاع المأكول منه يجعلنا نعتقد بوجود نظام حمل له .

ومن العوامل التى تؤثر فى امتصاص الكالسيوم مايلى :

١- فيتامين د :

العلاقة بين الفيتامين (د) والتمثيل الغذائى للكالسيوم فى تكوين العظام عرفت منذ زمن طويل ، ولكن الفعل الخاص للفيتامين (د) لم يتضح جيدا بعد وقد وجد ان الفيتامين (د) يزيد من امتصاص الكالسيوم من الأمعاء، فعند استخدام الكالسيوم المشع وجد ان فيتامين (د) له تأثير مباشر على مخاطية

الامعاء ، وادى الى تحسين امتصاص كل من الكالسيوم المأكول و الكالسيوم المفرز مع العصارات الهاضمة (اعادة الامتصاص Reabsorption) وفى دراسة اخرى وجد ان تأثير فيتامين (د) على امتصاص الكالسيوم لايحدث بمجرد وجود كلا من العنصرين فى الامعاء فى وقت واحد بل ان هناك تأخير فى اثر فيتامين (د) وهذا التأخير يعزى الى ان اثر فيتامين (د) غير مباشر على الغشاء المخاطى ، ولكن من خلال ادوار وظيفة اخرى منها دورة فى تخليق بروتين يحس الغشاء لنقل الكالسيوم ، وان كانت الادلة فى هذا الاتجاة غير كافية ، واثر فيتامين (د) فى عملية النقل للكالسيوم لوحظت حتى فى الحالات التى تثبط فيها الأكسدة بالفسفرة Oxidative Phosphorylation مما يدل على انه عملية لاتحتاج الى الطاقة .

٢- النسبة بين الكالسيوم والفوسفور :

ليس مجرد وجود الفوسفور مع الكالسيوم يحسن الامتصاص لهذا الاخير بقدرما للنسبة بينهما من الاثر وقد وجد ان زيادة نسبة الفوسفور تؤدى الى تحسين امتصاص الكالسيوم .

٣- العمر :

خلال مرحلة النمو تزداد كفأءة امتصاص الكالسيوم وذلك يقوى من الرأى القائل بأن الحيوانات الصغيرة لها قدرة عالية على امتصاص الكالسيوم عن الحيوانات الناضجة ، وزيادة العمر بعد ذلك فى الحيوانات الناضجة لها تأثير قليل على امتصاص الكالسيوم ،وقد ثبت بأستخدام الكالسيوم المشع ان المدة

التى يحتاجها الكالسيوم حتى يظهر باقصى مستوى فى الـدم كـانت اقـل فى الحيوانات الصغيرة عنها فى الناضجة .

٤- الحالة الإنتاجية :

وجد ان الدجاجة البياضة يكون معدل الاستفادة مـن الكالسـيوم فى العليقة اكبر من الدجاجة المتوقفة عن البيض، وكلما زاد انتاج البيـض كلمـا زادت معه كفأءة الامتصاص ، وان كان من المثير للجدل معرفة ايهما يؤثـر فى الاخر ، بمعنى هل ان الدجاجة يكون انتاجها عالى نتيجة لكفأتهـا العاليـة فى امتصاص الكالسيوم اللازم والضرورى لانتاجها ، ام ان معدل اسـتفادتها مـن الكالسيوم يزيد بحافز تملكه الدجاجة عندما يكون انتاجها من البيض عاليا .

٥- مستوى الكالسيوم فى الجسم :

عندما يكون مستوى الكالسيوم فى الجسم عاليا تقل كفاءة الامتصاص لـه من الامعاء والعكس بالعكس ، ويتضح ذلك من ان الدجاجة عاليـة الانتـاج المغذاه على عليقة منخفضة فى مستوى الكالسيوم يقل انتـاج البيـض فيـها ويستنفذ قدر من الكالسيوم المتحرك فى عظامها وتكون كفـأءة امتصاصـها للكالسيوم كبيرة ، وعند رفع مستوى الكالسـيوم فى العليقـة فـإن كفـاءة الامتصاص لا تعمل الا عندما تعوض الدجاجة ذلك النقـص فى الكالسـيوم المتحرك المستنفذ من جسمها .

٦- وجود المواد الرابطة :

هناك عوامل اخرى وجودها فى التجويف المعوى يؤثر فى امتصاص الكالسيوم منها حمض الفيتيك وحمض الاكساليك وذلك نتيجة تكون املاح الكالسيوم غير ذائبة مع هذه الاملاح .

٧- الصور الكيميائية للكالسيوم :

وجد ان الاستفادة من فوسفات الكالسيوم احادية او ثنائية القاعدية اكثر من الاستفادة من فوسفات الكالسيوم الثلاثية .

٨- درجة حموضة الامعاء (PH)

تزداد الاستفادة من الكالسيوم بانخفاض (PH) ويعلل ذلك بتحويل املاح الكالسيوم الى املاح حامضية سهلة الذوبان فى الماء ليسهل امتصاصها ، ففى حالة انخفاض (PH) تتحول الفوسفات الكالسيوم الثلاثية الى ثنائية ثم الى احادية وهى سهلة الذوبان .

ومن ناحية اخرى فإن ذيادة حموضة المعدة (زيادة افراز حمض الايدروكلوريك) يحول جزء كبير من املاح الكالسيوم الى كلوريدات سهله الذوبان والامتصاص.

٩- سكر اللاكتوز

لوحظ أن هناك تأثير محسن لسكر اللبن على امتصاص الكالسيوم عندما

يكون الكالسيوم مصاحبا لسكر (اللاكتوز) فى اللبن, ويعتقد ان هذا التأثير من اثر السكر على فلورا الامعاء ، او كنتيجة خفض الرقم الايدروجينى او لانه يجعله فى صورة اصلح للامتصاص او انه فى ذاته عامل منشط فى عملية النقل ، وعلى ذلك يعتبر شرب اللبن افضل الطرق الغذائية لعلاج نقص الكالسيوم فى الجسم اذ يوجد الكالسيوم فيه بتركيز عالى وامتصاصه سهل لوجود اللاكتوز .

١٠- هرمون الباراثيرويد :

وهو يعمل مع فيتامين (د) على زيادة معدل حركة وامتصاص الكالسيوم من غشاء الامعاء ، وكذلك فى الدخول والخروج من العظام .

١١- فيتامين (ج) :

له تأثير محسن لامتصاص الكالسيوم ، وربما كان ذلك معللا لتأثير اضافة فيتامين (ج) المحسن لقشرة البيضة وخاصة فى الصيف .

١٢- املاح الماغنسيوم والحديد :

كلما تزداد املاح الماغنسيوم والحديد تقل الاستفادة من الكالسيوم والعكس بالعكس ، وربما يرجع ذلك الى اشتراكهم فى نظام الحمل او النقل النشط .

١٣- نسبة الدهون فى العليقة :

وجد انه فى حالة سوء هضم وامتصاص الدهون يقل امتصاص الكالسيوم

وذلك لان جزء من الكالسيوم يرتبط بالاحماض الدهنيـــة فى صـــورة امـــلاح كالسومية (صابون كالسيومى) (Calcium soaps) غير ذائب وكذلك زيـادة نسبة الدهن فى العليقة تقلل من امتصاص الكالسيوم والعكس بـــالعكس فـــان زيادة نسبة الكالسيوم تقلل من امتصاص الدهون .

١٤- نسبة البروتين بالعليقة :

وجد ان بعض املاح الكالسيوم تذوب فى المحلول المائى للاحماض الامينية اكثر من ذوبالها فى الماء ، وعلى ذلك يزداد امتصاص الكاليسوم بزيادة نســـبة البروتين فى العليقة ، ربما كان هذا الميكانزم والسابق له يعطى دلالة على اتساق الحياة ، حيث انه فى الحيوانات والطيور الصغيرة التى تحتاج الى نسبة عالية مـــن الكالسيوم الممتص لنمو عظامها تتميز بأن علائقـــها ذات المســـتوى عـــالى فى البروتين ومنخفض فى الدهن .

ثانيـــا : التخزين

يخزن الكالسيوم اساسا فى الهيكل العظمى ويمكن تقسيم محتوى الجسم من الكالسيوم (وخاصة فى الجهاز العظمى) الى جزئين : جزء ثابت غير متحـــرك Immobile calcium ولا يمكن للطائر تحريكه من العظام للاســـتفادة منـــه فى حفظ مستوى كالسيوم الدم او فى تكوين قشرة البيضة ولا يعتبر الجـــزء غـــير المتحرك كالسيوم مخزون بالمفهوم الصحيح.

والجزء الثانى متحرك Mobile calcium وهو يمثل المخزون من الكالسيوم لتعويض النقص منه فى الدم ، وهناك عوامل كثيرة تتحكم فى عملية تحريك الكالسيوم مثل : فيتامين (د) وهرمون الغدة جار الدرقية وغيرها

ومستوى الكالسيوم فى الدم مؤشر هام للدلالة على الحالة التمثيلية للكالسيوم فى الجسم فمثلا : مستوى الكالسيوم فى الدم فى الدجاجة البياضة يصل الى ٢ او ٣ اضعاف مستواه فى دم الديوك او الدجاجات المتوقفة وكذلك مستوى الكالسيوم فى الدم يتأثر بهرمون الاستروجين ويتوقف التبويض ومكان البيضة فى قناة المبيض .

ثالثا : الاخراج :

جزء من الكالسيوم يخرج عن طريق البول ، وجزء اخر يخرج عن طريق البراز ويفرز الكالسيوم ايضا فى العرق وعن طريق البيض ، وجزء كبير من الكالسيوم يفرز فى القناة الهضمية مع الصفراء او فى الانزيمات الهاضمة ثم يعاد امتصاصه مرة اخرى او يخرج مع الروث .

الدور الحيوي للكالسيوم :

(١) مكون اساسى للعظام وقشرة البيضة

(٢) يدخل ضمن مكونات تجلط الدم فهو العامل رقم ٤ من عوامل تكوين الجلطة

(٣) يدخل كمنشط لانزيم الفوسفاتيز .

(٤) يشترك مع جميع انزيمات الاميليز (الاميليز يحتوى على الكالسيوم)

(٥) يشترك مع الصوديوم والبوتاسيوم فى تنظيم ضربات القلب والتـوازن الطبيعى بين الحموضة والقلوية بالجسم .

الفوســفور

التمثيل الغذائى :

يمتص الفوسفور فى الامعاء الدقيقة وجزء منه يمتص فى المعدة , ويعتقـد ان امتصاصه يكون بالنقل النشط ، ويرتبط امتصاص الفسفور بامتصاص الكالسيوم ، ويتأثر به وجزء من الفوسفور يمتص عن طريق الانتشار من خــلال جــدر الامعاء الدقيقة .

ويوجد الفوسفور فى الجسم على صورتين وخاصة فى الـــدم ، صـــورة عضوية وصورة غير عضوية ويخرج الفوسفور عن طريق الزرق او عن طريـــق البيض ولكنه يعاد امتصاصه فى الكليتين ولا يفرز فى البول .

ويصعب امتصاص الفوسفور الموجود فى الحبوب وخاصة حبوب العائلـــة النجيلية مثل القمح ، والشعير ، والارز ، اذا يكون مرتبطاً فى صورة مركـــب عضوى يعرف بالفيتين Phytinوهذا المركب يربط ثلاثة عناصر هى الفوسفور والكالسيوم والماغنسيوم

من الناحية العملية يجب حساب الفوسفور القابل للاستفادة Avilable phosphorusالموجود فى العلائق لتغطية احتياجات الطيور ويحسب عادة على اعتباره يساوى نصف الفوسفور الكلى فى الاعلاف النباتية مضاف اليه كل الفوسفور الموجود فى الاعلاف الحيوانية ، اذ يعتبر هذا الاخير جميعه قابل للاستفادة .

الدور الحيوي للفوسفور :

١- مكون اساسى للعظام (والأسنان فى الثدييات) مع الكالسيوم حيث ان ٨٦% من رماد العظام فى صورة فوسفات الكالسيوم ثلاثية ، كما ان ٩٩% من الكالسيوم بالجسم ، ٨٠% من فوسفوره يوجد فى الجهاز العظمى فى صورة فوسفات كالسيوم ، التى تعطى للعظام صلابتها

٢- مكون من مكونات البروتينات النووية ومشتقاتها مثل DNA, RNA وكذلك المركبات الحافظة والناقلة للطاقة مثل ATP, ADPوالعديد من المرافقات الانزيمية التى تنظم نقل الطاقة وتخليق البروتين وتمثيل الغذائى للكربوهيدرات .

٣- يدخل ضمن تكوين الفسوليبيدات التى تنظم نفازية الاغشية وتكون الجدر والأغشية الخلوية .

٤- له دور مشترك مع الكالسيوم والصوديوم فى حفظ الاتزان الالكترونى فى الدم وسوائل الجسم .

الماغنســـيوم

التمثيل الغذائى للماغنسيوم :

يمتص الماغنسيوم من الامعاء الدقيقة ، وزيادة الفوسفات تقلل من امتصاص الماغنسيوم ، بينما زيادة الماغنسيوم تقلل امتصاص الكالسيوم.

يخرج الماغنسيوم عن طريق الروث وعن طريق البول وعن طريق العـــرق والبيض ، ويخزن الماغنسيوم فى الهيكل العظمى الذى يحتوى علـــى ٦٠- ٦١ فى المائة من محتوى الماغنسيوم فى الجسم ، والباقى فى الانسجة العضلية .

ويختلف امتصاص الماغنسيوم باختلاف نوع الطائر وسنه وايضا يرتبـــــط ببعض العناصر الاخرى وفيتامين (د) . ، وايضا يرتبط امتصاصه وتمثيله بصفـــة عامة بهرمون الغدة جار الدرقية .

الدور الحيوى للماغنسيوم :

١- عامل منشط بالنسبة لانزيمات التنفس باشتراكه مع البوتاسيوم ، وهو ايضا منشط لبعض النظم الانزيمية داخل الخلايا

٢- يشترك فى عملية التمثيل الغذائى للعضلات

٣- منشط لانزيم الكولين استيز والاستيل كولين استيز

٤- يشترك فى تكوين العظام وقشرة البيضة مع كل من الكالسيوم والفوسفور

الصوديـــــوم

التمثيل الغذائى :

يوجد الصوديوم فى سيرم الدم ولكن تخلو كرات الدم منـــــه ، بعكـــس البوتاسيوم الذى يوجد اغلبه فى الخلايا مع نسبة صغيرة فى سيرم الدم .

ويوجد الصوديوم فى رماد العظام وهو موجود على صورة معقد عضوى يصعب انتزاعه من العظام ، ونظرا لسهولة ذوبان املاحه فى الماء فـــلا يوجـــد صعوبة فى هضمه وامتصاصه ، وترتبـــط عمليـــة امتصاصـــه بعمليـــة اتـــزان الالكترونات الاخرى ، ويساعد على امتصاص الصوديوم النشـــط مركبـــات الفوسفور .

ويتم افراز الصوديوم فى البول (٩٠% من المحتوى الجسم الصوديومـــى) وجزء عن طريق الزرق ، بعض انواع الطيور تفرز الصوديوم الزائد بالجسم عـــن طريق الغدد المدارية (orbital glands) او عن طريق الغدد الانفية المفرزة للملح وتلعب الغدة الجار كلوية دوراً هاما فى تنظيم التمثيل الغذائـــى للصوديـــوم ، وخاصة هرمون الاليدوستيرون ، الذى ينظم امتصاص الصوديوم فى الكليـــة ، ويمكن للطيور تحمل الكميات الزائدة من ملح الطعام فى الاكل عن تحملها له فى ماء الشرب .

تؤثر هرمونات الغدة النخامية على معدل الترشيح وسرعته وبذلك فـــهى تشترك مع عنصر الصوديوم فى تنظيم عمله .

الدور الحيوى الصوديوم :

١- يؤثر عنصر الصوديوم فى كـــل مـــن النمـــو والصحـــة والانتـــاج فىالدواجن.

٢- بعض عمليات الجسم مثل الهضم والتنفس وغيرها تختل اذا قل ملـــح الطعام فى العليقة

٣- يعمل الصوديوم فى النظام الحملى لكثير من العناصر المعدنية الدقيقـــة عند امتصاصها .

٤- يشترك ايضا الصوديوم فى النظام الحملى لبعض الاحمـــاض الامينيـــة والسكريات الاحادية عند امتصاصها .

٥- له دور هام فى حفظ درجة حموضة الجسم (pH) ، والاتزان المـــائى وحفظ الضغط الاسموزى .

٦- له دور فى توصيل النبضة العصبية

٧- بعض التفاعلات الانزيمية لاتتم الا فى وجود الصوديوم

البوتاسيوم

التمثيل الغذائى

يتشابه الى حد كبير مع الصوديوم ، وهو يتركز اساسا فى السوائل الخلوية الداخلية ، وتذوب املاحه فى الماء بسهوله ولذا يسهل امتصاصه ، ويتأثر كما فى الصوديوم ببعض الالكتروليتات ، ويمتص على طول القناة الهضمية ، واكبر امتصاص له فى الامعاء الدقيقة ، ويتم امتصاصه بالانتشار الغشائى البسيط على عكس الصوديوم ، ويخرج عن طريق البول والروث ، وينظم عملية افرازه هرمون الغدة جارالكلوية عن طريق الكلية .

الدور الحيوى للبوتاسيوم :

(١) يحافظ على نسبة الفقس العالمية
(٢) ضرورى مثل الصوديوم للحفاظ على الضغط الاسموزى للخلية
(٣) منشط للانزيمات الموجودة فى الميتكوندريا ، وهو بذلك على عكس فعل الصوديوم الذى يثبط هذه الانزيمات
(٤) مهم لنشاط عضلة القلب ، وهو بذلك على عكس تأثير الكالسيوم
(٥) يدخل فى تركيب العضلات وكرات الدم وجدر الخلايا .

الكلور

للكلور قابلية ضعيفة للاتحاد مع البروتينات وهو فى ذلك يخالف الصوديوم

ولذلك فانه باستمرار يوازن هذا العنصر الاخير فى الوسط الخارجى للخلية وهو يتحد مع كل من سوائل الجسم الداخلية والخارجية وهـــو مكـــون لحمـــض الايدروكلوريك فى العصير المعدى ونقص الكلور يؤدى الى اضطراب فى النمـــو وضعف العضلات ،كذلك مرض القلوية Alkosis بعض الانزيمات مثل الاميليز اللعاب تظهر زيادة فى نشاطها فى وجود ايون الكلور ويؤدى نقصه الى انخفـاض معدل النمو فى الكتاكيت النامية ، ةتظهر اعراض نقصه فى العضلات بطريقـــة مشابهة لتلك الناتجة عن فيروز التيتانوس وترتفع نسبة الوفيات وتظـــهر علـــى الكتاكيت اعراض اضطرابات عصبية والاحتياجات منه تغطى بإضافـــة ملـــح الطعام .

الكبريـــت

تنحصر اهمية الكبريت فيما يوجد منه على الصورة العضوية فى الاحمـاض الامينية ، اما الصورة المعدنيه له فهى ليست ذات اهمية من الوجهة الغذائية بـــل على العكس وجد ان لها تأثيراً ساماً عن الدواجن الصغيرة النامية ، ويســـتخدم الكبريت غير العضوى فقط لعلاج الكوكسيديا ، والكـــبريت عنصـــر هـــام وضرورى لسير العمليات الحيوية وفى اتمام التـــوازن بـــين التأثـــير الحمضـــى والقاعدى ، ويشترك فى تكوينه ونمو الاظافر والريش ، ويفرز عن طريق البـــول او عصارة الصفراء.

الحديد

التمثيل الغذائى للحديد :

فى وجود كمية كبيرة من الحديد فى البراز وكمية قليلة جدا منه فى البول ما يبرهن على ان الحديد مثل الكالسيوم يخرج اساس عن طريق تجاويف القناة الهضمية .

وقد وجد انه عند حقن الحديد فى الدم بكميات كبيرة فانه لا يخرج لا عن طريق البراز ولا عن طريق البول ،وذلك يجعلنا نعتقد ان هناك حركة غير مباشرة للحديد عبر الخلية المخاطية للامعاء بخلاف كونها وسيلة إخراجية .

زيادة الحديد فى داخل الجسم سواء عن طريق الحقن او طبيعيا نتيجة تفكك الحديد فى الدورة الطبيعية له ومروره غير المباشر خلال مخاطية الامعاء وقدرة البول المحدودة جدا على افراوه ، كل ذلك يقودنا الى فكرة ان خلية الطبقة المخاطية فى الامعاء تعمل على تنظيم كمية الحديد ابتداء من امتصاصها .

وهى بذلك تمنع احتياطيا زيادتها ، كما ان ميكانيكة تنظيم كمية الحديد الممتص موجود فى الخلية المخاطية فى الاثنى عشر والجزء العلوى من الصائم وهى وظيفة مركب الفرتين Ferritin الموجودة فى الخلية .

فالمستوى العالى من الفرتين فى الخلية دليل على مستوى الحديد العالى فى الجسم وبالتالى يمنع امتصاص الحديد ، اما انخفاض مستوى الفرتين فيعنى انخفاض مستواه فى الجسم وبالتالى يعطى التصريح بزيادة دخول الحديد الى

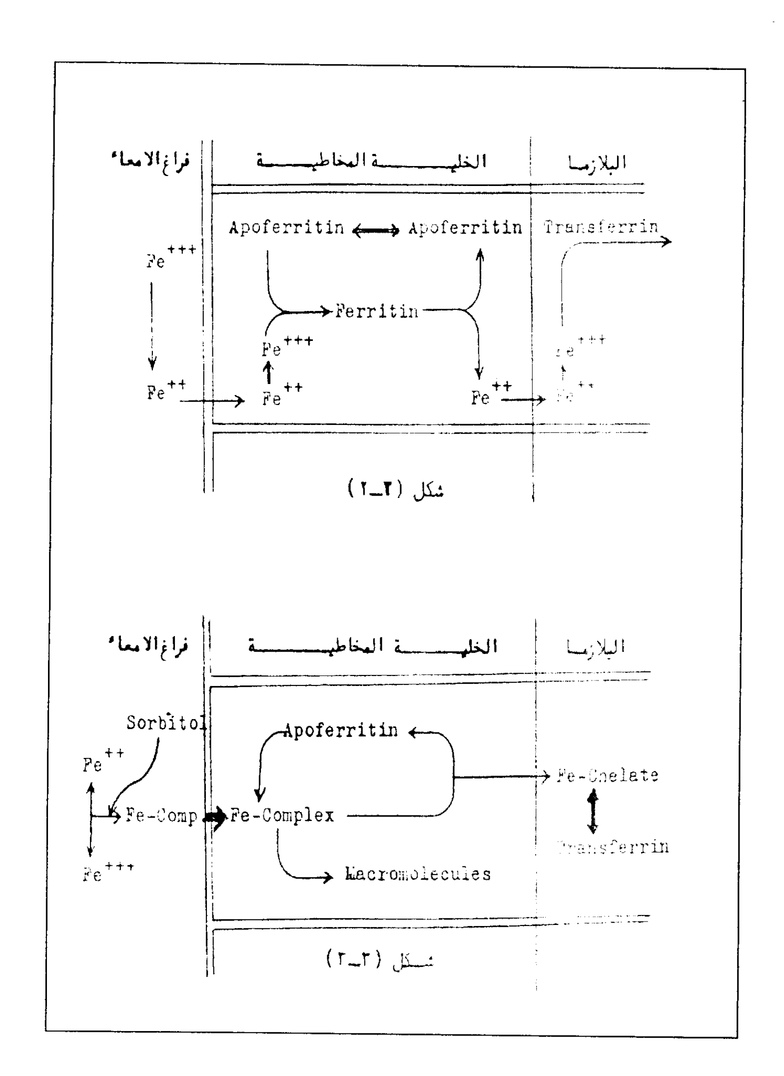
الخلية واعادة تكوين الابوففيرتين Apoferritin ثم الفرتين Ferritin .

ووجود الحديد وهو فى الصورة الثنائية التكافؤ (حديدوز) اكثر واسـرع امتصاصا منه فى الصورة الثلاثية (حديديك) ، والتحول من صورة حديديـك الى حديدوز تكون فى تجويف الامعاء قبل ان يدخل الى الخلية المخاطية .

وعند وصول الحديد يؤكسد ثم يربط مع الابوفيرتين ليكـون فرتـين ، ولكى يمر من خلال الطرف الاخر للخلية الاى الجسم فلابد ان يكسر الحديـد من الفرتين فيختزل ثم يعاد اكسدته بعد وصوله الى الدم حيث يكون مرطبـا فى صورة بيتا جلوبيولين globulin -وترانسفرين Transferrin كما هو موضـح بشكل (٣-٢)

ويوجد رأى الاخر يقول ان الحديد فى صورة الحديـدوز يتحـد مـع السوربيتول Sorbitol، وهو مركب عالى الوزن الجزيئى او الفراكتوز ، وذلـك فى تجويف الامعاء ، وفى داخل الخلية تكون هناك فرصة اكـبر للحديـد مـع مركب مشابه للسيريتول ولكن اقل وزنا جزئيا هو الابوفيرين. شكل (٣-٣)

وتناول المخاطية للحديد ونقله من الناحية الاخرى يحتاج الى الطاقـة فى كل خطوة وتناوله ايضا يكون اسرع بزيادة كمية الحديد الموجودة فى تجويـف الامعاء، والنقل من الناحية الاخرى يبقى ثابتا عند اقصى حد معتمـدا علـى الطاقة الناتجة عن نشاط الاكسدة للايض داخل الخلية ، كما ان امتصاص كـل من صورتى الحديد الثنائية والثلاثية يمكن ان يحدث على سطح المخاطية ولكـن النقل من السطح الاخر خاص بالصورة الثنائية فقط .



كيفية امتصاص الحديد فى الخلية الطلائية لمخاطية الامعاء

والدراسات التى اجريت باستخدام الاشعاع على الفئران اوضحــــت ان امتصاص الحديد غير محكوم مباشرة بأى من تركيز الحديد فى البلازما او حجــم المخزون من الحديد ، وبناء عليه افترض ان هناك تحكما معويا فى الامتصـــاص على الاعتبار ان سرعة معدل تجديد الخلايا المخاطية المعوية هو الذى يتحكـم فى هذا التنظيم ، وتبعا لهذا الافتراض فإن قله او زيادة مايسمى Messenger iron وهو مؤشر تكوين الخلايا طلائية امتصاصية جديدة فى الامعاء الدقيقـــة تبعـــا لاحتياجات الجسم من الحديد .

فالكمية الكبيرة من Messenger iron دليل على ان الجســـم فى حالـــة كفاية من الحديد وبالتالى فإن الخلايا الطلائية يكون لها القدرة على نبـــذ كـــل الموجود من الحديد الممتص عن طريق موت هذه الخلايا الحامله له بعد يومين او ثلاثة .

اما فى حالة نقص الحديد فى الجسم فإن قلة Messenger iron تحافظ على بقاء هذه الخلايا بما تحمله من مخزون الحديد الممتص ، وهذه النظرية لامتصـــاص الحديد تعلل تأثير كل من محتوى الجسم من الحديد ومعدل تخليق كرات الـــدم على تجديد الغشاء المخاطى للجهاز الهضمى .

وفى حالة تناول جرعات عالية من الحديد لا يحتاج اليه الجســـم يقـــوم الجسم بطرد الخلايا المخاطية المحملة بكمية كبيرة من الحديد بسرعة اكبر مـــن سرعة تجديد الطبقة المخاطية بخلايا جديدة فتنهتك الطبقة المخاطيـــة للجـــهاز الهضمى وتحدث اضطرابات هضمية واسهال وقلة الاستفادة من الغذاء كليـــة

بصفة عامة .

ويساعد حمض الايدروكلوريك على تحويل الصورة الثلاثية من الحديد الى الصورة الثنائية وبالتالى سرعة الامتصاص الى داخل خلايا الطبقة المخاطية ، ويرجع وجود نسبة كبيرة من الحديد فى الكبد والطحال ونخاع العظام الى ان هذه الاعضاء اماكن تكوين او هضم كرات الدم الحمراء وبالتالى تكون نفايات وبقايا هذه الكرات موجوده فيه ومن اهمها صبغة الهيم heme وعنصر الحديد ، ولكن ليس معنى ذلك ان هذه الأعضاء تقوم بتخزين الحديد فيها .

الدور الحيوى للحديد :

١- يدخل الحديد فى تكوين الهيموجلوبين Hemoglobin حيث يحتوى على حوالى ٠,٣٣٥ % من وزنه حديد .

٢- انزيمات السيتوكروم Cytochromes تحتوى على الحديد كمجموعة فعالة .

٣- يدخل ايضا فى تركيب انزيمات اخرى مثل انزيمات الفيلافين ومختزالات السيتوكروم ، ومؤكسدات الزنثين .

٤- احد مكونات ميوجلوبين Myoglobinالعضلات

٥- يدخل ايضا فى تكوين انزيمات Catalese , peroxidase fumerti hydrogense

النحـــاس

على الرغم من الاحتياجات من النحاس بالنسبة للدواجن ضئيلة جـــدا الا انه فى غاية الاهمية ، لعملية تمثيل الحديد لتكوين الهيموجلوبين .

والنحاس يمتص من المعدة وكذلك من الامعاء الدقيقة ويقـــل امتصــــاص النحاس باضافة كربونات الكالسيوم وايضا هناك علاقة تلازمية بين التفـــاعلات الخاصة بامتصاص النحاس والعناصر المعدنية الاخرى مثل الموليبيدنيوم وتمتـــص مركبات المرتبطة بالاحماض الامينية اسرع منها عندما يكون فى صورة كبريتات نحاس.

ويفرز النحاس اساسا عن طريق الحوصلة الصفراوية ، والبط اقل حساسية لزيادة مركبات النحاس فى الغذاء نظرا لتمكنه من افرازه بكفاءة اكبر عن طريق الصفراء .

الدور الحيوى للنحاس :

١ وجد ان النحاس مكون للانزيمات التالية :

Lactase, tyrosinase, uriase, ascorbic acid oxidase butyryl co-A dehydrogenase.

ويزداد تركيز النحاس فى الاعضاء التالية : الكبد ، القلب ، الكلية ، نخاع العظام ، الطحال ، الشعر ، المخ ، وهى الاعضاء التى تحتاج الى نشــــاط كبـــير للدورة الدموية والتنفس او الاعضاء المخلقة والهادمة للـــهيموجلوبين وكـــرات

الدم الحمراء.

٢- له وظيفة فى تخليق الهيموجلوبين ودخول الحديد فيه مع ان النحـــاس ليس مكوناته .

٣- قد تستخدم مركبات النحاس لمنع الفطريات فى العلائق

٤- يلعب مع الحديد دورا فى تكوين صبغات الريش

المنـــجنيز

عرفت اهمية المنجنيز الغذائية عندما وجد ان نقصه يسبب مرض انـــزلاق الاربطة فى الدواجن ، وامتصاص هذا العنصر محدود ولذلـــك يجـــب اضافتـــه بكميات كافية فى الغذاء ويخزن المنجنيز فى العظام والكبد ويفرز عـــن طريـــق الصفراء وكمية قليلة منه تفرز عن طريق البول .

الدور الحيوى للمنجنيز

(١) المنجنيز مكون من مكونات بعض الانزيمات مثـــل Prolidase ومنشـــط لانزيمات عديدة اخرى فى التمثيل الغذائى

(٢) هام للنمو الطبيعى بصفة عامة لتكوين العظام بصفة خاصة فى الدواجـــــن ضرورى ايضا لتكوين قشرة البيضة .

(٣) ضرورى للحفاظ على نخاع العظام

(٤) يلعب دورا فى التمثيل الغذائى لبعض الاحماض الامينية مثل الارجنين

(٥) هام للحفاظ على مد دورة حياة جزيئ الهيموجلوبين .

الزنــــك

امتصاص الزنك على صورة كربونات او كبريتات متساوى ، ويلاحـــظ ان الفيتين الموجود فى الحبوب يمنع امتصاص الزنك ، ويمتص الزنك من الجــــزء العلوى للامعاء الدقيقة.

ويخرج الزنك بكميات كبيرة عن طريق الزرق ، و بكميات قليلة عـــــن طريق البول ، ويجب زيادة معدلات الزنك فى العليقة عند زيادة نسبة الكالسيوم والفوسفور لتأثير هذين العنصرين الاخيرين على امتصاصه.

الدور الحيوى للزنك :

١- الزنك مكون من مكونات الكثير من الانزيمات مثل

Carbonic anhydrase, dehyroptidase, glycyl-glycine dipeptidase, carboxpeptidase, alcohol dehyydrogenase, glutamic dehydrogenase, lactic dehydrogenase.

٢- هام للنمو بصفة عامة

٣- يلعب دورا هاما فى اتزان الحموضة والقلوية فى الجسم فى تســـــهيل خروج ثانى اكسيد الكربون من الانسجة وتكوين حمض الكربونيـــك فى الدم ، ثم تكسير حمض الكربونيك واطلاق ثانى اكسيد الكربـــون فى الرئة

٤- له دور هام فى عملية تكلس وتكوين قشرة البيضة والريش

٥ – يعمل الزنك كعامل منشط لعديد من الانزيمات مثل .

aldolase, enolase, phosphatase, arginase urginase, peptidase .

٦- يدخل فى تركيب هرمون الانسولين

اليــود

يمتص الجزء الاكبر من اليود فى الامعاء ويمتص ايضاً بكمية اقل فى المعـــدة واخراجه يتم عن طريق الغدد اللعابية ، ويفرز عن طريق العرق والبيض ، ويتـــم امتصاص اليود بسرعة ، ومعظم اليود فى الجسم يوجد فى الغدد وخاصة الغـــدة الدرقية .

الدور الحيوى لليود

(١) يحتاج الجسم لليود حتى تقوم الغدة الدرقيـــة بوظيفتـــها نظـــرا لان هرمون الثيروكسين الذى تفرزه هذه الغدة يحتوى على ٦٥٪ منه يود .

(٢) له تأثير على الغدد الصماء الأخرى

(٣) يعمل من خلال هرمون الثيروكثين على تنظيم تمثيل الطاقة فى الجسم ويؤثر على ديناميكية الدورة الدموية .

ويضاف اليود فى صورة يوديد بوتاسيوم او كالسيوم او فى صورة ملـــح طعام يودى .

السيلينيوم

كان السيلينيوم يعتبر عنصراً ساما للدواجن فى الوقت الماضى ، ولكن اتضح فيما بعد انه عنصر ضرورى وهام للحياة والانتاج والنمو فى الدواجن وللسيلينيوم علاقة وثيقة بثلاثة عناصر غذائية هامة هى :

(أ) فيتامين (هـ) (ب) الكبريت (ج) الاحماض الامينية المحتوية على الكبريت

وله علاقة ايضا بكل من الفوسفور والزرنيخ

والسلينيوم يوجد فى البروتينات الحيوانية على صورة سلينات الاحماض الامينية Seleno- emino acid ويتوقف امتصاص السيلينيوم فى الامعاء على قابلية املاحه للذوبان ومحتوى العليقة من الكبريت ويخرج السيلينيوم على طريق البول .

الدور الحيوى للسيلينيوم

علاقته بفيتامين (هـ):

وجد ان للسيلينيوم فى الدواجن علاقة وثيقة ببعض الاحتياجات من فيتامين (هـ) ، حيث يمكن ان يحل محل الفيتامين المذكور فى منع ظهور بعض اعراض نقصه ، وذلك عن طريق زيادة الاستفادة منه ، حيث يعتقد انه يشترك فى عملية امتصاص ونقل وتخزين فيتامين (هـ) .

(٢) علاقته مع الكبريت

يرتبط دور السيلينيوم بالاحماض الامينية المحتوية على الكبريت ، مثل الميثايونين والسيستين ، وكان يظن انه يحل محل الكبريت فى عمليات التحويل الغذائى لهذه الاحماض ، ولكن ثبت اخيرا انه يدخل فى تركيب مركبات عضوية هامة تشترك فيها هذه الاحماض مثل الجلوتاثيون .

(٣) علاقته بامراض الكبد :

يعتبر السيلينيوم العامل الثالث Factor III المانع لمرض تنخر الكبد Liver necrosis وقد وجد ان اضافة السلينات منعت تماما ظهور هذا المرض فى الفئران .

(٤) علاج بعض الامراض الاخرى فى الكتاكيت :

امكن علاج زيادة نفازية الشعيرات الدموية بواسطة السيلينيوم المعدنى كما تأكد علاج امراض ضمور العضلات فى الكتاكيت عن طريق زيادة نسبة السيستين فى العلائق المقدمة اليها او ايضا باضافة السيلينيوم .

(٥) منشط لبعض الانزيمات :

يلعب السيلينيوم دورا هاما فى تنشيط بعض الانزيمات المشتركة فى عمليات نزع مجموعة الكربوكسيل Decarboxylation

(٦) عمله كمانع للأكسدة

هذا العنصر المعدنى له دور كمانع للأكسدة ، وتبين ان اضافة هذا العنصر فى العلائق المحتوية على نسبة كبيرة من الاحماض الدهنية غير المشـــبعة ادى الى حفظ هذه الاحماض من التأكسد ومن تكوين البيروكسيدات .

المولبيـــدينيوم

من المعروف ايضا ان المولبيدينيوم من العناصر السامة فى الغذاء و لم تظـهر اهميته الا اخيرا عندما وجد ان هذا العنصر يدخل فى تركيب بعض الانزيمـــات فى الجسم .

ويمتص المولبيدنيوم على صورة مولبيدات ويخرج اساسا فى البول مثل بقية الانيونات الاخرى ، ويبلغ اكبر تركيزا له فى الانسجة بسرعة بعد تناول غـــذاء مدعم به ، ويزداد تركيز وجود هذا العنصر فى الكبد ، الكلية ، وغدة الادرينال ، والتمثيل الغذائى له يتأثر بتناول الكبريتات غير العضوية ، وهو يدخل فى بنـــاء قواعد البيورين وحمض البوليك عن طريق انـــزيم Xanthin-oxidaseويدخـــل ايضا فى تركيب انزيمات aldehyde oxidase والمولبيدينيوم هام للنمو ، ومـــن ضمن العوامل التى يتوقف عليها بناء البروتين فى الجسم ، وكان يســـمى فيمـــا مضى عامل اكسدة الزانثين Xanthine oxidase factorثم لكتشف بعد ذلـــك ان هذا العامل هو احد عناصر الاثار (المولبيدينيوم) وهذا العنصر ايضا منشـــط لانزيمات Flavoprotein enzymes ومكـــون لانـــزيم Molybdonoprotein sulfite oxidaseواهمية هذا العنصر للطيور اكبر منها فى بعض الثدييات

تنحصر اهمية الكوبلت فى الدواجن فى كونه مكونا لفيتـــامين (ب١٢) اذ يحتوى هذا الفيتامين على حوالى ٤% من وزنة كوبلت ، وليس من المعـــروف ان للكوبلت فى الدواجن دورا اخر بخلاف دور فيتامين ب١٢ المذكور ســابقا ، لذلك ينصح بألا يضاف الكوبلت فى علائق الدواجن الا فى صورة فيتـلمين ، وهذا على عكس الحال فى الحيوانات الاخرى او المجترات فأن اضافة الكوبلـــت فى غذائها او وجوده فى نباتات المراعى التى تتغذى عليها يجعل بكتريا الكـــرش والكائنات الدقيقة فى الامعاء تقوم ببناء الفيتامينات من هذا العنصر بما يكفـــى حاجة الحيوان الذى يمتص هذا الفيتامين المخلق و لكن دور هذه الكائنـــات فى الدواجن قليل جدا فهى توجد بكميات اقل وحتى الجزء المتواضع الذى يمكن ان تخلقه فى جسمها لا يمتص فى الامعاء ولكن وجد انه فى العلائق البحثية النقيـــة يجب اضافة الكوبلت اليها كما فى الطيور المرباه ارضيا يكون من المفيد امدادهـا ببعض الكوبلت لتنشيط نمو البكتريا فى الزوائد الاعورية ومن ثم تعويض بعـــض النقص فى فيتامين ب١٢ بتناولها للزرق من الفرشة .

العناصر المعدنية الحيوية الاخرى

(١) الفلور

لا توجد عظمة من عظام الجسم لا تحتوى على الفلور ، وهـــو يحـــافظ علـــى صلابة العظام ، و لم يثبت له حتى الان وظيفة محددة فى الدواجن ، وان كـــان ضمن العناصر المعدنية الحيوية بصفة عامة.

(٢) الكروم :

يوجد بنسبة كبيرة نسبيا فى الكليتين اكثر منه فى بعض اجزاء الجسم ، يعتقد ان له دور فى بعض عمليات التمثيل الغذائى ، ومازالت الابحاث عنه قليلة.

(٣) السيليكون :

مازال حول هذا العنصر جدل كبير ، فالبعض يرى انه عنصر هام والبعض يرى ان ليس له اهمية ، وعموما فقد وجد ان اضافته بنسبة ٢,٥٪ من بيتونات الصوديوم حسن النمو ، وهذه المادة تحتوى على ٦٣٪ سيليكا ، الالومونيا ، كما ان بعض مركبات السيليكا تستخدم فى عمل مشكلات العلف.

(٤) الزرنيخ

وجد ان الاثار الصغيرة جدا من الزرنيخ مفيدة للنمو وحافظة للصحة بينما الزرنيخ بنسب اكبر قليلا يكون ساما ، ومركبات الزرنيخ تستخدم كمضادات للميكروبات وكمواد علاجية .

(٥) البروم :

كل من الدجاج والفئران ابدت تحسنا فى النمو والصحة بوجود هذا العنصر .

(٦) **النيكل** :

يعتقد ان له علاقة وظيفية داخل الانسجة الحية الحيوانية وانـــــه يدخـــل بطريقة او باخرى فى تثبيت الصبغات فى الجلد .

(٧) **القصدير** :

ثبت وجوده فى الانسجة وغير معروف دورة ، ولكن ينصح باضافتـــه فى العلائق النقية بنسبة ٣ جزء فى المليون

(٨) **الفانديوم**

له علاقة بتمثيل الدهون ، وهو يمتص بقلة من القناة الهضمية ويخرج مـــع الصفراء ويوجد فى الاماكن التى ترسب فيها الدهون .

(٩) **الباريوم** :

يعتقد انه هام للنمو فى الفئران وخنازير غنيا ، وان لـــه دور فى احـــداث طراوة العظام .

(١٠) **السترانشيوم**

يوجد فى العظام وله علاقة وثيقة بالكالسيوم ويعتقد انه ضرورى لتكلس العظام .

الفهرس

رقم الايداع بدار الكتب و التوثيق القومية

٢٠٠٠/١٦١١٦

الترقيم الدولى 977/5798/18/4

الناشر



دار الهدى للنشر و التوزيع

٥٥ شارع الدكتور الخمساوى — عرب العيايدة — الخانكة

ت ٤٦٣٣٠٧٥